

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ДИЗАЙНУ

Факультет мехатроніки та комп'ютерних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційних та комп'ютерних технологій

(повне найменування інституту, назва факультету)

*Дипломна магістерська робота*

на тему: Комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом пастеризації молока

Виконав: студент групи МгЗАК-21  
спеціальності

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою

Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

Володимир ОЛІЙНИК

Керівник к.т.н., доц. Юрій ЛЕБЕДЕНКО

Рецензент к.т.н., доц. Володимир ПАВЛЕНКО

Київ 2022

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут, факультет Мехатроніки та комп'ютерних технологій

Кафедра Інформаційних та комп'ютерних технологій

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ІКТ  
доц., к.т.н. Владислава СКІДАН

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ОЛІЙНИКУ Володимиру Володимировичу

1. Тема роботи: Комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом пастеризації молока

Науковий керівник роботи Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,

затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» вересня 2022 року №180-уч

2. Строк подання студентом роботи 18.11.22 року

3. Вихідні дані до роботи: система повинна здійснювати регулювання температури в діапазоні від 50 до 100 оС, з точністю 1 °С. Час регулювання не більше 10 с, перерегулювання не більше 5 %.

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Розділ 1 Аналіз технологічного процесу пастеризації молока; розділ 2 Технічна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи контролю і регулювання параметрів процесу пастеризації; Розділ 3 Моделювання комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока; загальні висновки.

## 5. Консультанти розділів дипломної магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,		
Розділ 1	Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,		
Розділ 2	Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,		
Розділ 3	Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,		
Висновки	Лебеденко Ю.О. к.т.н., доц.,		

## 6. Дата видачі завдання 20.09.2022 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ	25.09. 2022	
2	Розділ 1 Аналіз технологічного процесу пастеризації молока	01.10.2022	
3	Розділ 2 Технічна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи контролю і регулювання параметрів процесу пастеризації	09.10.2022	
4	Розділ 3 Моделювання комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока	20.10.2022	
5	Висновки	28.11.2022	
6	Оформлення дипломної магістерської роботи (чистовий варіант)	01.11.2022	
7	Здача дипломної магістерської роботи на кафедрі для рецензування (за 14 днів до захисту)	04.11.2022	
8	Перевірка дипломної магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	12.11.2022	
9	Подання дипломної магістерської роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	15.11.2022	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Володимир ОЛІЙНИК

Науковий керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Юрій ЛЕБЕДЕНКО

Директор НМЦПФ

\_\_\_\_\_

(підпис)

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

## АНОТАЦІЯ

**ОЛІЙНИК В. В. Комп'ютерно-інтегрована система керування технологічним процесом пастеризації молока. – Рукопис.**

Дипломна магістерська робота за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2022 рік.

Дипломну магістерську роботу присвячено розробленню комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока.

Аналіз технологічного процесу показав, що для покращення роботи обслуговуючого персоналу та збільшення продуктивності і підвищення якості продукції слід вчасно реагувати на зміну параметрів технологічного процесу та вживати заходів на підтримання їх в допустимих межах. В якості об'єкту керування обрано пастеризатор. Проведений аналіз недоліків існуючого стану ведення технологічного процесу.

На основі проведеного аналізу розроблена комп'ютерно-інтегрована система автоматизованого керування технологічним процесом пастеризації. Вибрано технічну реалізацію комп'ютерно-інтегрованої системи контролю і регулювання параметрів процесу пастеризації.

Виконано синтез регулятора температури, запропоновано алгоритм програми для мікроконтролера, приведено послідовність програмування регулятора.

Реалізована SCADA-система для керування технологічним процесом пастеризації молока.

*Ключові слова: пастеризатор, комп'ютерно-інтегрована система, автоматичне керування, технологічний процес, підвищення ефективності та якості.*

## ANNOTATION

### **OLIYNYK V. V. Computer-integrated control system for the technological process of milk pasteurization. - Manuscript.**

Diploma master's thesis on specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies. – Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2022.

The master's thesis is devoted to the development of a computer-integrated control system for the technological process of milk pasteurization.

The analysis of the technological process showed that in order to improve the work of service personnel and increase productivity and improve the quality of products, it is necessary to respond in time to changes in the parameters of the technological process and take measures to maintain them within acceptable limits. The pasteurizer is selected as the control object. An analysis of the shortcomings of the existing state of technological process management was carried out.

On the basis of the conducted analysis, a computer-integrated system of automated control of the technological process of pasteurization was developed. The technical implementation of the computer-integrated system of control and regulation of pasteurization process parameters was selected.

The synthesis of the temperature regulator is performed, the program algorithm for the microcontroller is proposed, and the sequence of programming the regulator is given.

A SCADA system for controlling the technological process of milk pasteurization has been implemented.

*Key words: pasteurizer, computer-integrated system, automatic control, technological process, improvement of efficiency and quality.*

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматична система управління технологічним процесом

АРМ - автоматизоване робоче місце

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ВП – вихідний пристрій

ІВМП - інтеграл від зваженого модуля помилки

ІКП - інтеграл від квадрата помилки

ІМП - інтеграл від модуля помилки

КШМ - кривошипно-шатунний механізм

ОЗП- оперативно запам'ятовуючий пристрій

ПДР - поплавковий датчик рівня

ПІД – пропорційно інтегрально-диференціальний регулятор

ПК – персональний комп'ютер

ПОУ-пастеризаційно-охолоджувальна установка

ППЗП – перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

EEPROM - електрично стираємий перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій

УАРТ- універсальний асинхронний приймач-передавач

SCADA - програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збирання, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або керування.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ</b>	
МОЛОКА.....	12
1.1 Призначення та загальні принципи пастеризації .....	12
1.2 Технологічна схема пастеризації молока та її опис.....	16
1.3 Основні типи пастеризаторів та їх функціональна особливість.....	18
1.4 Функціональні елементи процесу пастеризації.....	24
1.5 Недоліки існуючих пастеризаційних установок.....	32
1.6 Розробка функціональної схеми пастеризації молока.....	32
Висновки до розділу 1.....	36
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ</b>	
<b>СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ</b>	
<b>ПАСТЕРИЗАЦІЇ.....</b>	
<b>37</b>	
2.1 Вибір засобів виміру температури.....	37
2.2 Вибір засобів виміру тиску .....	38
2.3 Вибір засобів виміру рівня .....	39
2.4. Вибір засобів виміру витрат .....	40
2.5 Вибір засобів вимірювання кислотності.....	41
2.6 Розрахунок та вибір регулюючого органу і виконавчого механізму регулювання.....	41
2.7 Вибір насосу.....	46
2.8 Перетворювач частоти Atv-38.....	48
2.9 Вибір регулятора.....	49
2.10 Вибір інтерфейсу.....	54
Висновки до розділу 2.....	58
<b>РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ</b>	
<b>КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПАСТЕРИЗАЦІЇ</b>	
<b>МОЛОКА.....</b>	
<b>59</b>	

3.1. Синтез регулятора температури .....	59
3.2 Розробка алгоритму програми для мікроконтролера.....	65
3.3. Програмування мікроконтролера .....	66
3.4 Реалізація SCADA-системи для керування технологічним процесом пастеризації молока .....	74
Висновки до розділу 3.....	82
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТКИ .....	87



## ВСТУП

На сьогоднішній день передові підприємства використовують комп'ютерно-інтегровані системи керування технологічними процесами. Це дає змогу виготовляти більшу кількість продукції, підвищити якість цієї продукції та зменшити вплив людського фактору на технологічний процес.

Молочні продукти становлять значну складову частину раціону людей, вони використовуються в багатьох стравах та в різному вигляді. Для більш тривалого зберігання молочних продуктів необхідно їх «очистити» від бактерій та мікроорганізмів. Для цього використовується процес нагрівання молока до певної температури та на певний проміжок часу який називається пастеризацією.

**Актуальність теми дипломної роботи.** Впровадження нових комп'ютерних технологій дозволяє не лише привести до нормативних значень параметри технологічного процесу, а також усунути недоліки технології, створити комфортні умови роботи обслуговуючого персоналу, підвищити надійність та знизити витрати на обслуговування обладнання.

**Метою дослідження** дипломної роботи є розроблення комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока, саме систему автоматичної підтримки заданої температури молока в передбачених технологічним процесом межах.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні основні **завдання дипломної роботи:**

- проаналізувати технологічний процес пастеризації молока та виявити його недоліки;
- розглянути основні типи пастеризаторів та їх функціональна особливість, а також функціональні елементи процесу пастеризації;
- розробити функціональну схему комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого керування технологічним процесом;

- обрати технічні засоби апаратної платформи, застосування яких є доцільним в комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизованого керування технологічним процесом пастеризації;

- розробити алгоритм і програму для контролера який відповідає за функціонування всіх компонентів системи разом відповідно технологічного процесу;

- розробити графічний інтерфейс SCADA-системи, який відображає стан системи в реальному часі, надаючи можливість керування та контролю технологічного процесу пастеризації.

**Об'єктом дослідження** є процес температурою молока в пастеризаторі.

**Предмет дослідження** - методи і засоби створення та реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока.

У роботі були використані наступні методи дослідження:

- метод спостереження;
- метод аналізу;
- метод порівняння;
- метод експерименту.

**Інформаційна база дослідження:** при написанні дипломної магістерської роботи використані наукові публікації по методах і засобах створення та реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації з фондів бібліотеки КНУТД, Чернігівської обласної універсальної наукової бібліотека ім. В. Г. Короленка м. Чернігова та глобальної мережі Інтернет.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у вдосконаленні алгоритму роботи комп'ютерно-інтегрованої системи керування параметрами технологічного процесу пастеризації і розробці SCADA - системи, в якій реалізовано дистанційне керування технологічним процесом, контроль в реальному часі, та можливість змінювати вид пастеризації програмним способом.

**Практичне значення одержаних результатів:** запропонована модель комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока забезпечить збільшення якості технологічного процесу, підвищення надійності і зменшення витрат на обслуговування обладнання.

**Апробація результатів магістерської роботи:** тези доповіді представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інжиніринг», 24 листопада 2022 року, м. Київ (Додаток А).

**Структура і обсяг роботи:** робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (50 найменувань), додатків. Загальний обсяг магістерської роботи 86 сторінок комп'ютерного тексту.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

### 1.1 Призначення та загальні принципи пастеризації

Пастеризація - процес нагрівання молока до певної температури і витримування за цієї температури впродовж певного часу з метою знищення хвороботворних мікроорганізмів. Технологія була відкрита в середині XIX століття французьким мікробіологом Луї Пастером. Застосовується для знезараження харчових продуктів, а також для продовження терміну їх зберігання.

При такій обробці в продукті гинуть вегетативні форми мікроорганізмів, однак все одно мікроорганізми залишаються в життєздатному стані та при виникненні сприятливих умов починають інтенсивно розвиватися. Тому пастеризовані продукти (молоко, пиво та інше) зберігають при знижених температурах протягом обмеженого періоду часу. Вважається, що харчова цінність продуктів при пастеризації практично не змінюється, оскільки зберігаються смакові якості та цінні компоненти (вітаміни, ферменти).

Теплова обробка молока може проводитися при різних режимах. У кожному разі враховуються певні особливості проведення процедури.

-Тривала пастеризація спрямована на гарантоване придушення патогенних мікроорганізмів. При проведенні процедури властивості молока залишаються первинними, але життєдіяльність мікробів пригнічується практично повністю. Температура пастеризації становить 65 градусів. Основна відмінність – це тривале проведення процедури, так як для цього відводять близько півгодини. Традиційно використовуються спеціальні ванни великих розмірів, що відрізняються подвійними стінками. Цей спосіб вважається одним з кращих, адже його ефективність максимальна (99%).

- Короткочасна пастеризація проводиться за більш доступною схемою і передбачає використання тільки гарячої води. Процедура заснована на теплообміні. Молоко нагрівають до 71 градуса, після чого витримують протягом

40 хвилин. Ефективність досягає 98 відсотків, тому такий метод вважається одним з кращих.

- При високотемпературній пастеризації молоко нагрівають моментально без подальшої витримки. Мінімальна температура повинна скласти 85 градусів. Цей спосіб є короткочасний. Нагрівання проводять не тільки з використанням гарячої води, але і пара. Придушення сапрофітної мікрофлори досягає 99,5 відсотків.

- Ультра високотемпературна пастеризація передбачає проведення двох етапів процедури. Спочатку температуру підвищують, до 70 градусів (але не більше 80). Потім нагрівають до 135-150 градусів за допомогою пари. У такому режимі молоко має оброблятися менше однієї хвилини.

- Ультразвукова пастеризація - це нетермічна альтернативна технологія, яка використовується для знищення або деактивації організмів і ферментів, які сприяють псуванню їжі. Ультразвук може бути використаний для пастеризації консервів, молока, молочних продуктів, яєць, соків, напоїв з низьким вмістом алкоголю та інших рідких продуктів [5].

Дія пастеризації на мікроорганізми, що містяться в молоці, залежить від температури, до якої нагрівають молоко, і тривалості витримки при цій температурі. Пастеризацією знищуються мікроби, а при стерилізації (нагріванні молока вище температури кипіння) - одночасно і спори. Кип'ятінням знищується вся мікрофлора молока, за винятком спор, стійких до температури кипіння. Пастеризацією без помітної зміни органолептичних властивостей молока (смак, запах і консистенція) знищуються мезофільні молочнокислі бактерії (*S. lactis*, *S. cremoris* і ін.). Термофільні молочнокислі стрептококи і ентерококи (*S. durans*, *S. bovis*, *S. faecalis*) зберігаються в молоці після пастеризації в досить значній кількості. Однак їх біологічна активність у процесі зберігання молока при температурах нижче 8°C порівняно низька, і вони не впливають на якість охолодженого пастеризованого молока. Термостійкі молочнокислі палички також витримують прийнятні режими пастеризації. Однак при низьких температурах зберігання молока вони не розвиваються. Псіхротрофніе бактерії

в процесі пастеризації в основному гинуть, хоча окремі клітини більш терmostійких видів можуть витримувати короточасну пастеризацію при температурах 71-72°C - і навіть 75-77°C. Ефективність пастеризації залежить від того, які види мікроорганізмів переважають в сирому молоці. Цей фактор, в свою чергу, визначається умовами зберігання сирого молока до пастеризації. Якщо молоко охолоджують до температури 0-3 ° С відразу після доїння і зберігають при цій температурі до переробки, в ньому розвивається переважно психротрофная мікрофлора. Психротрофи мають низьку терmostійкість, тому ефективність пастеризації глибоко охолодженого молока висока (до 99,9%). Розвиваючись в сирому молоці, психротрофи можуть виробляти терmostійкі ліпади і протеази, що не руйнуються при термічній обробці, які можуть чинити негативний вплив на якість стерилізованого молока і молочних консервів. Якщо молоко зберігається при температурах вище 8-10°C, в ньому переважають терmostійкі бактерії (ентерококи, термофільні стрептококи та ін.), Що досягають 50% і вище від загальної кількості мікроорганізмів. В результаті ефективність пастеризації молока буває нижче 98% [6].

При пасовищному утриманні худоби мікрофлора молока знищується нагріванням більш повно, ніж при стійловому утриманні. Пояснюється це тим, що при стійловому утриманні бактерії потрапляють в молоко головним чином з гнойових часток. Ці бактерії по своїх властивостях більш стійкі до нагрівання. При пасовищному утриманні в молоці виявляються переважно бактерії, що розмножуються на рослинах. Перед пастеризацією необхідна ретельна очистка молока. Термічний вплив на молоко приводить до деяких змін його складових речовин. При нагріванні з молока вивітрюються розчинені в ньому газу. Внаслідок видалення вуглекислоти кислотність молока знижується на 0,5-1°C. При температурі вище 85°C частково змінюється казеїн. Але найбільшому впливу піддається альбумін молока: при 60-65°C він починає денатурувати. Порушується при пастеризації і сольовий склад молока. Розчинні фосфорнокислі солі переходять у нерозчинні. Від часткового згортання білків і утворення нерозчинних солей на поверхні нагрівальних приладів (пастеризатори)

відкладається осад-молочний камінь (пригару). Пастеризоване молоко повільніше згортається сичужним ферментом. Це пояснюється випаданням кальцієвих солей. Додавання до такого молока розчину хлористого кальцію відновлює його здатність згортатися.

Цілі пастеризації наступні:

- знищення патогенної мікрофлори, отримання продукту, безпечного для споживача в санітарно-гігієнічному відношенні;
- зниження загальної бактеріального обсіменіння, руйнування ферментів сирого продукту, що викликають псування пастеризованого продукту, зниження його стійкості при збереженні;
- спрямована зміна фізико-хімічних властивостей продукту для отримання заданих властивостей готового продукту, зокрема, органолептичних властивостей, в'язкості, щільності згустку і т.д.

Обсяги продуктів, що підлягають пастеризації, величезні. Тому пріоритетними напрямками робіт з вдосконалення та створення нових пастеризаційно-охолоджувальних установок є зниження енергоємності теплообмінних процесів, мінімізація їх геометричних параметрів, зниження вартості [12].

Пастеризоване молоко може бути:

- **Топленим.** Це молоко з підвищеним показником жирності, яке перед гомогенізацією пастеризують протягом 3-4 годин при температурі не нижче 95°C.
- **Білковим.** Продукт з такою назвою характеризується підвищеним вмістом білка (до 5,5%), цукру і ряду інших сухих знежирених компонентів. При цьому масова частка молочного жиру в ньому мінімальна – не більше 1-2%. Такий склад виходить в ході змішування цільного і сухого (або ж згущеного) молока.
- **Нежирним.** Таке молоко виходить в ході сепарації нормалізованого продукту, вершків в ньому мінімально, а жирність не перевищує 0,05%.

- Вітамінізованим. Цей продукт виготовляється з цільної або ж нежирної сировини, шляхом насичення його вітамінами груп А, С і D в співвідношенні не більше 100 мг на 1 кг молока.

- Солодовим. Таке молоко виходить шляхом додавання в нормалізовану сировину солодового екстракту, який багатий на біологічно активні елементи, вітаміни і вуглеводи. Жирність такого продукту становить не більше 1,5%, а сам продукт має сіруватий відтінок і солодкуватий присмак.

## 1.2 Технологічна схема пастеризації молока та її опис

Технологічний процес виробництва пастеризованого питного молока складається (зображений на рис. 1.1) із таких операцій: 1) приймання і підготовки сировини; 2) нормалізація за вмістом жиру (сепарація); 3) пастеризація молока; 4) охолодження до температури 3-7°C; 5) розлив з упакованням; 6) зберігання.

Рівень молока в молокозбірнику підтримується за допомогою рівнеміра, який при падінні рівня нижче заданого значення подає сигнал на автоматичний регулятор рівня. Регулятор рівня подає сигнал на виконавчий механізм, який відкриває засувку подачі молока в молокозбірник.

Температура в молокозбірнику вимірюється за допомогою термометра опору. В залежності від температури первинний перетворювач подає сигнал на вторинний, який в свою чергу подає сигнал автоматичний регулятор температури.

Для очищення молока використовують сепаратори-молокоочисник в якому механічні домішки видаляються під дією відцентрової сили. В сепараторі – очиснику потрібно підтримувати рівень залитого молока, який підтримується за допомогою рівнеміра. Якщо рівень молока більше або менше сигнал подається на автоматичний регулятор рівня, який показує та сигналізує про перелив або недолив молока.



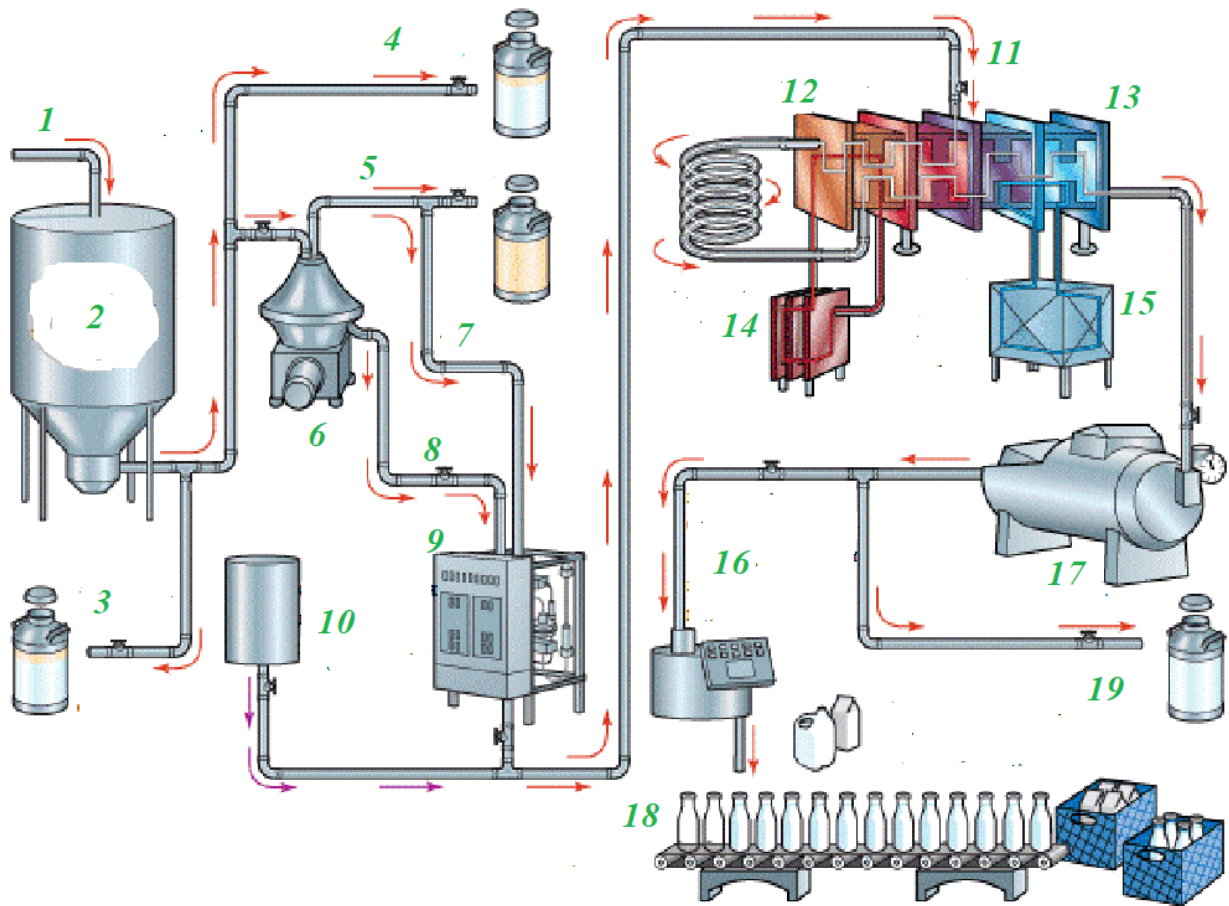


Рисунок 1.1 - Схема основних процесів, які проходять при переробці молока

1 – подача сировини, 2 - ємність для збирання молока (молокозбірник), 3 - тестування сирого молока, 4 – молоко для виробництва сирів, 5 – молоко для виробництва масла, 6 – сепарація, 7 – сливки, 8 – зняте молоко, 9 – стандартизація, 10 – додавання вітамінів А та D, 11 – пастеризація, 12 – нагрівання, 13 – охолодження, 14 – система з гарячою водою, 15 – система з холодною водою, 16 – охолодник та система розливу у тару, 17 – гомогенізація, 18 – молоко необхідної жирності, 19 – для виготовлення сухого та згущеного молока.

Коли молоко пройшло очистку його перекачують через трубопровід до регенеративного теплообмінника. Тиск в трубопроводі вимірюється датчиком, коли тиск в трубопроводі досягає максимального значення, заданого при налаштуванні приладу, подається сигнал на відключення насосу. Коли кількість молока зменшується і тиск досягає мінімального значення, вимірювальний прилад подає сигнал на виконавчий механізм, який вмикає насос для подальшого

перекачування і цикл повторюється.

Температура в регенеративному теплообміннику підтримується на заданому рівні. При зменшенні температури або при підвищенні її сигнал подається на автоматичний регулятор який подає сигнал на виконавчий механізм регулюючи температуру, крім регулювання температури вона виводиться на табло.

Після того як молоко пройшло нагрівання в регенеративному теплообміннику, воно поступає в пастеризатор, де за допомогою нагрівання воно пастеризується. Температура в пастеризаторі вимірюється за допомогою термометра опору.

Пройшовши пастеризатор, молоко потрапляє в охолодник, де підтримується температура на заданому рівні для охолодження рідини. Термометр опору подає сигнал на регулятор температури, який видає сигнал на виконавчий механізм регулюючи її.

Готовий продукт потрапляє до молоко-збірника, де також потрібно регулювати температуру та рівень в бочці.

Температура регулюється за допомогою термометра опору, при падінні або підвищенні температури вище норми, подається сигнал на регулятор температури, який видає сигнал на виконавчий механізм регулюючи її.

Рівень в бочці регулюється за допомогою рівнеміра. При падінні рівня нижче норми або при підвищенні його, сигнал надходить до регулятора рівня, який відкриває засувку подачі молока в бочку [14].

### 1.3 Основні типи пастеризаторів та їх функціональна особливість

Пастеризацію проводять у пастеризаторах наступних типів:

- 1) з витіснюючим барабаном (ОПД);
- 2) роторних, за рахунок молекулярного тертя часток оброблюваного продукту (ПМР);
- 3) пластинчастих (ОПФ, ОПУ);
- 4) із застосуванням інфрачервоних променів (УОМ-ІК);

5) ультрафіолетового випромінювання (УФО);

### 1.3.1. Пастеризатор з витісняючим барабаном ОПД.

Пастеризатор ОПД-1М призначений для теплової пастеризації молока та вершків.

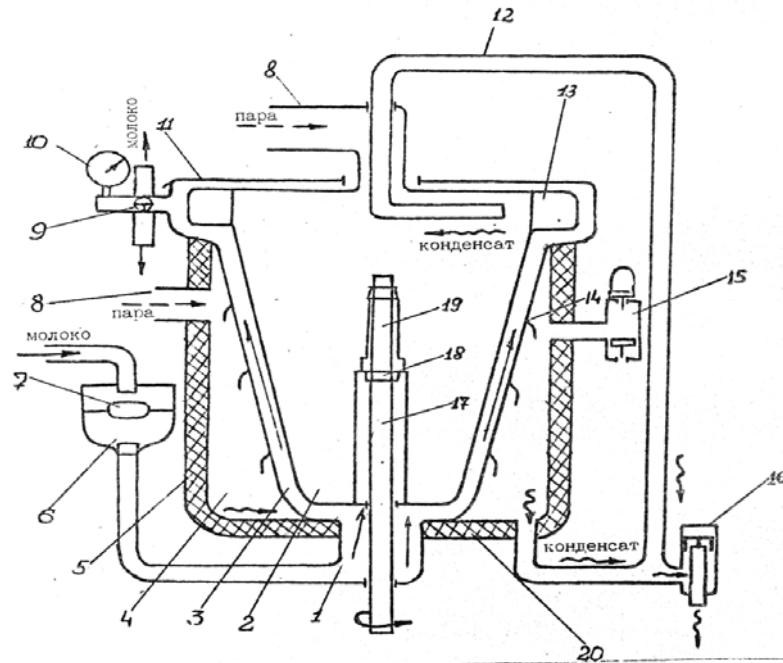


Рисунок 1.2 – Конструктивно-функціональна схема пастеризатора ОПД - 1М б

1 – приймальна камера, 2 – витискувальний барабан, 3 – молочна ванна, 4 – парова камера, 5 – кожух, 6 – молочна лійка, 7 – поплавок, 8 – паропровід, 9 – кран триходовий, 10 – термометр, 11 – кришка ванни, 12 – трубопровід, 13 – лопаті, 14 – сльозникове кільце, 15 – запобіжний клапан, 16 – пристрій зливу конденсату, 17 – вал, 18 – втулка, 19 – болт регулювальний, 20 – корпус

Принцип дії пастеризатора. Молоко подається в приймальну лійку 6, а з неї поступає в приймальну камеру 1 і заповнює нижню частину простору між ванною та витискувальним барабаном. При обертанні барабана молоко теж починає обертатися. Під дією відцентрової сили молоко притискується до поверхні ванни і піднімається вгору. Далі молоко захоплюється лопатями 13 і під тиском видаляється у вихідний патрубок.

Температуру пастеризації молока контролюють термометром 10, регулюють подачею пари, а також часом перебування молока в пастеризаторі.

Якщо температура молока нижче заданої, тоді за допомогою триходового крана можна зменшити його вихід чи, при необхідності, направити на повторну пастеризацію.

Пара паропроводом 8 поступає в барабан 2 та в паровий простір між молочною ванною 3 і циліндром корпусу 20. Молоко тонким шаром проходить в зазорі між ванною та барабаном і нагрівається до заданої температури. Конденсат, що утворюється в паровій оболонці, збирається в нижній частині циліндра і крізь пристрій 16 зливається. Пристрій для відведення конденсату 16 запобігає прямому виходу пари в атмосферу з парової оболонки та барабана. По мірі накопичення рівень конденсату в пристрої підвищується. При цьому відкривається клапан і конденсат переливається через край трубки і видаляється.

Тиск пари в паровій оболонці та барабані не повинен перевищувати 130 кПа. Такий тиск в пастеризаторі підтримується верхнім паровим клапаном 15. Якщо припиняється подача пари, то в паровій оболонці створюється розрідження. В цьому випадку відкривається нижній повітряний клапан запобіжника 15 і в міжстінковий простір надходить повітря. 18

### 1.3.2 Пастеризація рідких харчових продуктів за допомогою роторних нагрівачів

Поширення набули пастеризатори соків за допомогою роторних нагрівачів, модель типу ПМР-02-ВТ.

Схема технологічного процесу відбувається наступним чином. Продукт з приймальної ємкості подається в приймальний бак. З приймальної ємкості продукт за допомогою насоса поступає в секцію рекуперації теплообмінника, де підігрівається зустрічним потоком пастеризованого продукту. З секції рекуперації продукт поступає в роторні нагрівачі. При обертанні на великих оборотах в роторному нагрівачі продукт, проходячи зони розширення і звуження, нагрівається до температури пастеризації. Далі молоко прокачується через клапан повернення, витримувача, секцію рекуперації, секцію охолодження і прямує в ємність для збору і зберігання. Якщо в автоматичному

режимі роботи температура продукту нижче заданої, то клапан повернення спрацьовує і направляє продукт на вхід в секцію рекуперації для повторного нагріву. Температура пастеризації продукту відображається і реєструється на приладах в шафі управління. Пастеризований продукт з секції рекуперації поступає в секцію охолодження, де охолоджується холодною водою до заданої температури і поступає в ємність для збору і зберігання. Роторний нагрівач нагріває на невелику різницю температури (7-9°C). Основний нагрів здійснюється в секції рекуперації, тому робота роторного нагрівача коректна тільки у складі охолоджувальної для пастеризації установки, спільно з пластинчастим теплообмінником. Потужність нагрівачів і їх кількість визначає продуктивність установки. нагрівач є вихровою гідродинамічною машиною, що володіє властивостями насоса [12].

### 1.3.3 Пластинчасті охолоджувальні пастеризатори.

#### 1.3.3.1. Пастеризаційно-охолоджувальна установка - ПОУ.

Термічна обробка продуктів проводиться в ПОУ, що є теплообмінним апаратом з секціями підігріву і охолодження. В ПОУ (рис. 1.3.) продукт послідовно проходить секції: регенеративного нагріву (I), пастеризації (II), витримки (III) і охолодження (IV).

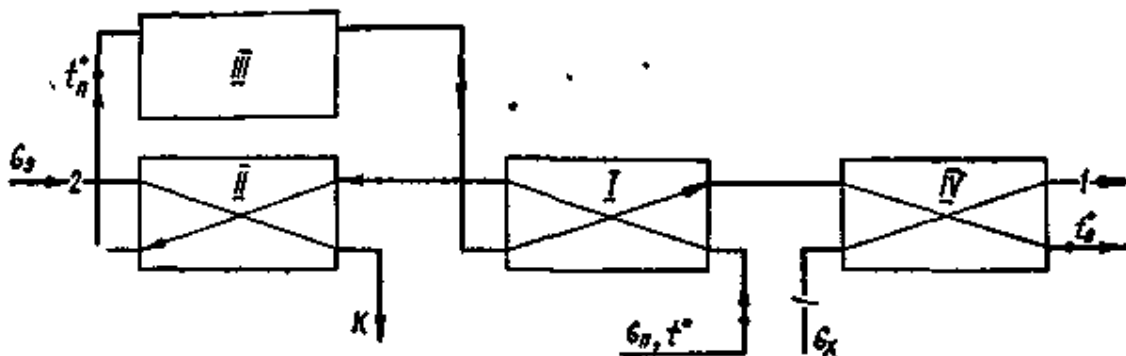


Рисунок 1.3 - Схема проходження продуктом, секцій ПОУ

У секції I продукт, який поступає, підігрівається теплом що виходить з витримувача продукту, який при цьому охолоджується. Далі підігрітий продукт подається в секцію II, де за рахунок енергії енергоносія  $G_e$  нагрівається до заданої

температури  $t_{п}$ . Після проходження секції III пастеризований продукт, віддавши частину тепла на нагрів в регенераторі, поступає в секцію IV, де енергоносієм низького температури охолоджується до заданої вихідної температури  $t^{\circ}$ .

### 1.3.3.2. Пастеризаційно-охолоджувальна установка ОПФ-1

Пастеризаційно-охолоджувальна установка ОПФ-1-300 призначена для очищення, пастеризації та охолодження молока (рис. 1.4)

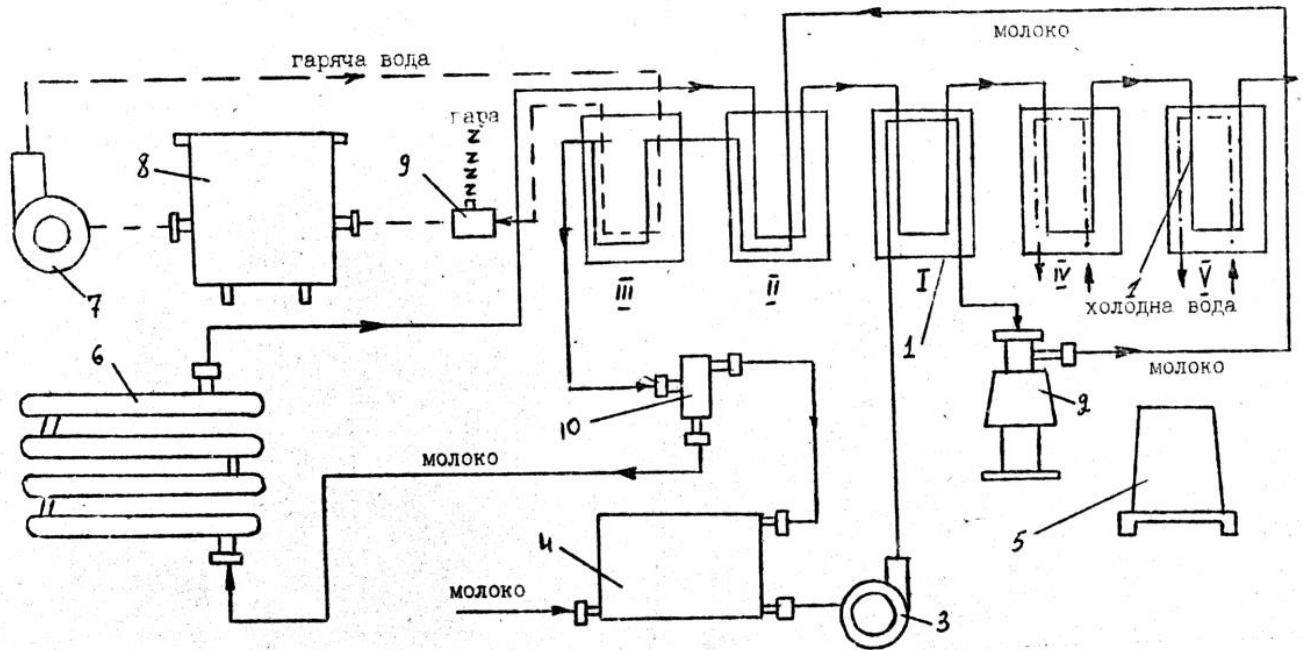


Рисунок 1.4 – Конструктивно-функціональна схема пастеризаційно-охолоджувальної установки ОПФ-1-300

Вона складається з пластинчастого теплообмінного апарату 1, відцентрового очисника 2, трубчастого витримувача молока 6, вирівнювального бака 4, молочного насоса 3, насоса для гарячої води 7, бойлера 8, інжектора 9, перепускнуго клапана 10, пульта управління 5. Пластинчастий апарат, в свою чергу, складається з п'яти теплообмінних секцій: I та II - регенерації, III - пастеризації, IV та V - охолодження. Секції розділені між собою розподільними плитами зі штуцерами для підведення і відведення відповідних рідин.

Робочий процес установки проходить таким чином. Молоко подається у вирівнюваний бак 4. Постійний рівень молока (повинен бути не менше 300 мм) підтримується поплавковим пристроєм, для запобігання потрапляння повітря в насос 3. З бака 4 молоко насосом 3 направляється в першу секцію регенерації. В

цій секції молоко попередньо нагрівається потоком гарячого молока, що надходить із секції пастеризації через другу секцію регенерації. Потім нагріте до 37-40 °С молоко виходить із першої секції і поступає в молокоочисник. Очищене від домішок молоко з очисника потрапляє в другу секцію регенерації, де нагрівається молоком, що виходить з секції пастеризації. Після цього молоко переходить в секцію пастеризації, де нагрівається гарячою водою до заданої температури 90 °С. З пастеризатора молоко електрогідравлічним перепускним клапаном 10 направляється у витримувач 6 і знаходиться там 300 секунд, а потім послідовно проходить другу і першу секції регенерації, де частково віддає тепло зустрічним потокам молока.

Далі молоко подається послідовно в четверту та п'яту секції охолодження, де охолоджується водяним і розсольним холодоносіями до температури 5-6 °С .

Режими роботи установки контролюються і регулюються автоматично. Перепускний клапан 10 автоматично переводить потік молока на повторну пастеризацію при його температурі нижче 90°С. Вода для пастеризації підігрівається в бойлері 8 парою, що поступає через інжектор 9 з паропроводу, а потім подається водяним насосом 7 - в секцію III установки. Регулювання подачі пари здійснюється автоматично електрогідравлічним регулюючим клапаном, встановленим на подаючому паропроводі, залежно від температури молока. При зниженні його температури подача пари збільшується, а при підвищенні - зменшується.

1.3.4 Пастеризаційні установки ультрафіолетового випромінювання (УФО) та інфрачервоних променів (УОМ-ІК).

Поширення починають здобувати пастеризаційні установки, у яких нагрівання молока здійснюється не гарячою водою або парою, а за допомогою інфрачервоних нагрівачів, ультрафіолетового випромінювання і т.д.

У пастеризаційно – охолоджувальна установка УОМ-ІК-1 складається з аналогічних вузлів і апаратів, що й в ОПФ-1, тільки тут нагрівання молока здійснюється в секції інфрачервоного електронагріву. Така секція складається з трубок кварцового скла U-образної форми з відбивачами з анодируваного

алюмінію. Секція має 16 трубок (10 основних, 4 регулюючий режим нагрівання і 2 додаткових), на які навита спіраль з ніхрому. Трубки включені в мережу паралельно.

Принцип роботи пастеризаторів з використання ультрафіолетового випромінювання полягає в безконтактному впливі ультрафіолетового випромінювання на спеціально сформований тонкошаровий потік молока.

Робоча пастеризаторів серії УФО залучається в наступному. Молоко через отвори клапана-зрошувача подається тонким шаром на верхню пастеризаційну пластину і стікаючи по ній, проходить через інтенсивний потік ультрафіолетових променів. Через отвори верхнього збірника молоко надходить на нижню пастеризаційну пластину, де повторно обробляється нижнім пристроєм, що опромінює. Пастеризоване молоко з нижньої пластини стікає в збірник, а з нього - у прийомну ємність.

Пастеризатори УФО є безнапірними апаратами, і тому насос для подачі молока комплектуються запірним клапаном.

#### 1.4 Функціональні елементи процесу пастеризації

##### 1.4.1 Молокозбірник

Молокозбірник – це скляний балон із двома горловинами і бічними отворами, призначений для збирання молока з молокопроводів.

##### 1.4.2 Деаератор молока.

Сире молоко містить у середньому до 6% розчинених різних газів. При виробництві молочних продуктів вони видаляються із молока шляхом вакуумної деаерації. Для цього молоко подають у деаераційну установку, в якій воно очищається від газових домішок, включаючи сторонні запахи. Робота деаератора (рис.1.5) заключається в наступному. У вакуумну камеру через тангенціальний вхід надходить попередньо нагріте молоко, вхід в камеру зроблений таким чином, що вхідний потік розподіляється тонкою плівкою по стінці камери, що сприяє більш ефективному виділенню розчинених газів, молоко миттєво закипає, пари вологи проходять через конденсатор, вбудований зверху камери,



конденсуються і повертаються назад у молоко, а повітря разом із газами видаляється вакуумним насосом. Головна перевага деаерації – покращення густини молока, що особливо важливо для виробництва молочних продуктів. Молочні продукти, виготовлені з деаерованого молока, мають кращі органолептичні властивості, довше зберігаються і мають більшу термостабільність при тепловій обробці

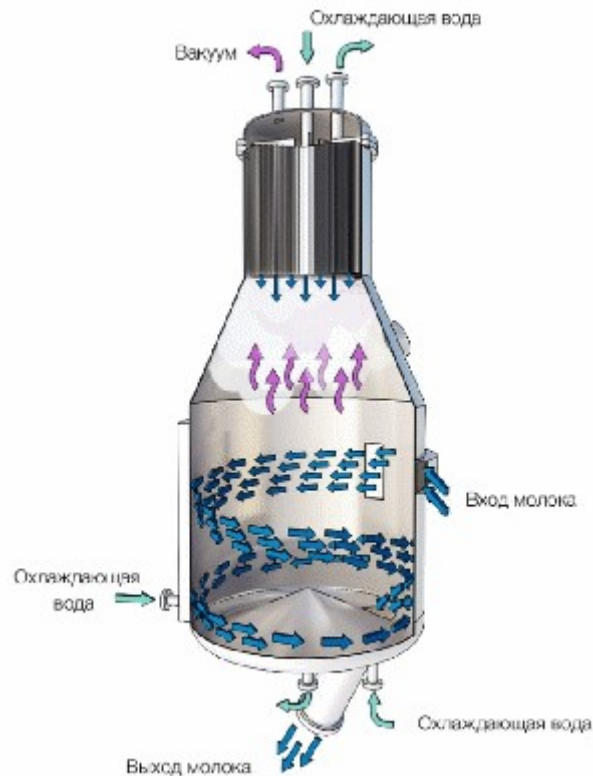


Рисунок 1.5 - Деаератор молока.

#### 1.4.3 Гомогенізатор

Гомогенізатор – пристрій для подрібнення молока за рахунок пропускання під великим тиском з великою швидкістю через вузькі кільцеві отвори. В результаті дії на продукт різних гідродинамічних факторів проходить подрібнення твердих частин продуктів і їх інтенсивна механічна обробка.

Найбільше розповсюдження одержали клапанні гомогенізатори, основними механізмами яких є насос високого тиску і гомогенізуюча головка.

Гомогенізатор А1-ОГМ (рис 1.6) складається з електродвигуна 1, який

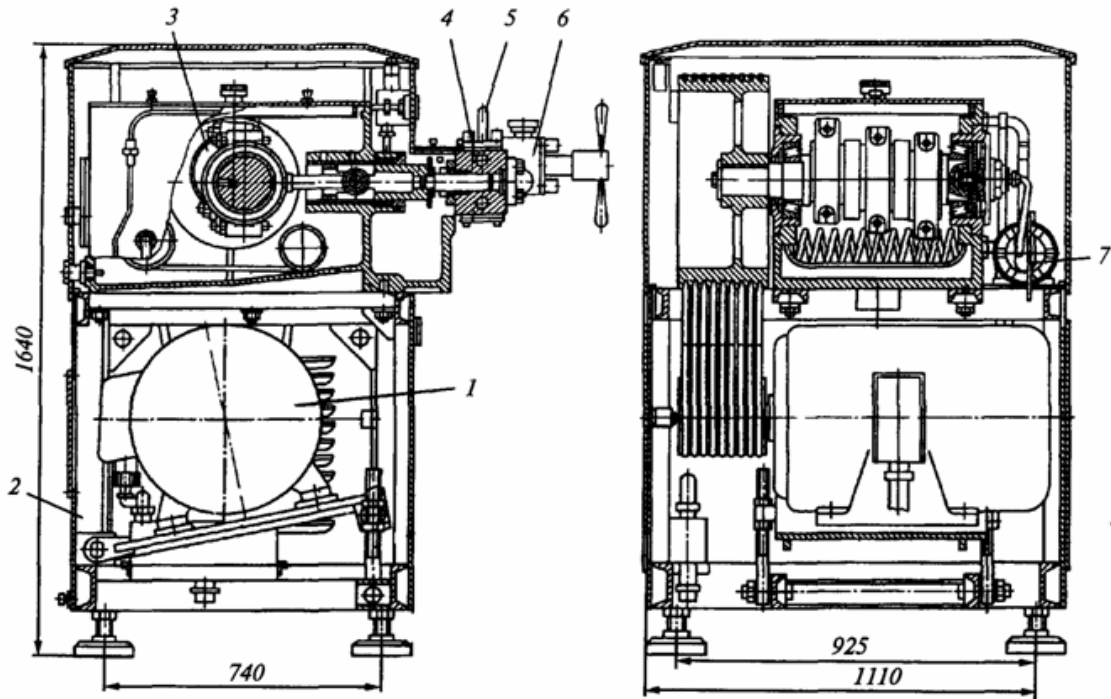


Рисунок 1.6 - Гомогенізатор А1-ОГМ.

1-електродвигун, 2-корпус, 3-кривошипно-шатунний механізм, 4- плунжерний блок, 5 - манометрична головка, 6 - гомогенізуюча головка, 7- система змащення.

приводить в рух КШМ 3 через клиноремінну передачу. В корпусі 2 крім КШМ розміщена системи охолодження і мащення, сітчатий фільтр. Система охолодження призначена для підведення холодної води до плунжерного блоку 4 з гомогенізуючою 6 і манометричною 5 головками. Вона включає в себе змійовик, розміщений на дні корпусу 2, перфоровану трубку над плунжерами та патрубки для підведення і відведення води. Система мащення призначена для подачі масла до шийок колінчастого валу. Принцип роботи гомогенізатора полягає в нагнітанні продукту через вузький отвір між сідлом і клапаном гомогенізуючої голівки. Тиск продукту перед клапаном 20...25 МПа, після клапану - близький до атмосферного.

#### 1.4.4 Сепаратор-очисник

Складається (рис. 1.7) із станини, приводного механізму, тахометра, барабана і приймально-вивідного пристрою.

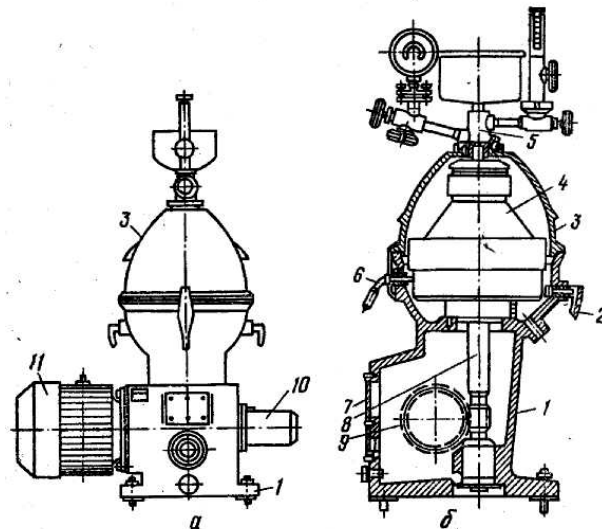


Рисунок 1.7 Загальний вигляд (а) і вертикальний розріз (б) сепаратора-очисника: 1 – станина; 2 – гальмо; 3 – кришка; 4 – барабан; 5 – приймально-вивідний пристрій; 6 – стопор; 7 – кришка; 8 – вал; 9 – шестерня горизонтального валу; 10 – тахометр; 11 – електродвигун.

В станині змонтовані привідний механізм і тахометр. В чаші станини закріплені два гальма для зупинки барабана після вимикання електродвигуна, а також два стопори, які утримують барабан від довільного обертання при збиранні і розбиранні. На верхньому торці чаші станини встановлена кришка сепаратора. Внутрішня частина станини служить одночасно ванною для масла. Привідний механізм складається із електродвигуна, фрикційно-відцентрової муфти, горизонтального і вертикального валів. Він призначений для передачі обертання барабану від електродвигуна.

Фрикційно-відцентрова муфта призначена для поступової і плавної передачі обертання від електродвигуна до барабану. При обертанні диска муфти колодки її під дією відцентрової сили притискаються до бандажу і не передають повних обертів на вал, потім поступово проковзування припиняється. Контроль частоти обертання барабана забезпечується циферблатним тахометром і лічильником. Робоче число обертів горизонтального валу відповідає показу 145 на циферблаті тахометра. Барабан (рис. 1.8) – основний робочий орган сепаратора, в якому

проходить розділення молока на вершки та відвійки. Всі деталі барабана для зберігання його балансування збирають і фіксують тільки в одному положенні.

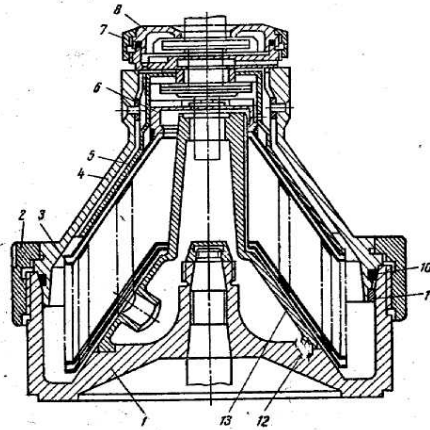


Рисунок 1.8 Барабан: 1 – основа; 2 – велике зтяжне кільце; 3 – тарілка проміжна; 4 – кришка; 5 – тарілка розділювальна; 6 – тарілка верхня; 7 – кільце мале зтяжне; 8 – кришка напірної камери; 9 – кільце ущільнююче мале; 10 – кільце ущільнююче велике; 11 – фіксатор; 12 – штифт; 13 – тарілотримач.

Положення великого зтяжного кільця відносно кришки барабана визначають за нанесеними на них контрольним відміткам. Зтяжне кільце має ліву різьбу, що запобігає само відкручуванню при обертанні барабана (по часові стрілці). Приймально-вивідний пристрій сепаратора ОСП-3М служить для подачі молока в барабан і відведення очищеного молока із барабана.

#### 1.4.5 Теплообмінники

Пастеризатори в основному оснащені регенераційними проточними нагрівальними секціями (рис.1.9). Молоко, що надходить, попередньо нагрівають теплом від гарячого молока, яке надходить з секції пастеризації.

Таким чином, на молокозаводі питома витрата енергії може бути зменшена на 80%, якщо використовувати подібний непрямий теплообмін між продуктом після термічної обробки і знову надходить продуктом

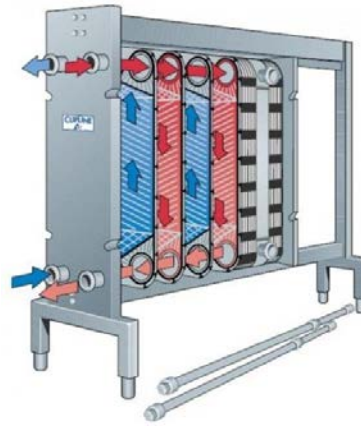


Рисунок 1.9 - Теплообмінник

Регенеративний теплообмінник - основним конструктивним елементом пластинчастих теплообмінників є пластини. Пластини (рисю 1.10) виготовляють із нержавіючої сталі марок 18Н10Т або Х14Г14НЗТ, товщиною від 0,7 до 1,5 мм. На поверхні пластини виконані рифлі, що створюють штучну турбулізацію потоку і одночасно збільшують площу поверхні теплообміну при таких самих габаритах установки. Рифлі також підвищують жорсткість пластини, запобігаючи її прогинанню при значному перепаді тиску між робочим середовищем і продуктом. Рифлі можуть бути розміщені під кутом, у вигляді ялинки або паралельно один до одного. На двох сусідніх пластинах рифлі розміщені під протилежним кутом, що забезпечує їх контакт і запобігає прогинанню, а при паралельному розміщенні рифлів використовують спеціальні опорні рифлі. Пластини уніфіковані. Найчастіше у теплообмінниках використовуються пластини П1, П2, П3. На рисунку 1.11 наведена схема пластинчастого апарату. Пластини набираються на розміщених на станині двох тягах 6 (верхня і нижня одна одній) і затискаються притисочною плитою 7 за допомогою гвинта 9.

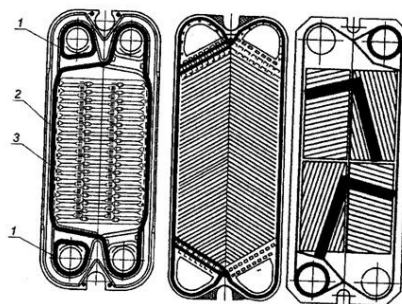


Рисунок 1.10 Схеми пластин пластинчастих теплообмінників: 1-мала прокладка, 2- велика прокладка, 3- пластина

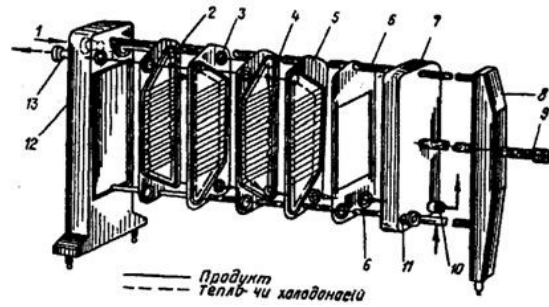


Рисунок 1.11 Схема пластинчастого апарату: 1-патрубок подачі продукту; 2-траєкторія руху продукту; 3-мала ущільнювальна прокладка; 4-велика ущільнювальна прокладка; 5-пластина; 6-тяги; 7-притискна плита; 8-задня плита; 9-затискний гвинт; 10-патрубок відведення продукту; 11-патрубок надходження робочого середовища; 12-станина; 13-патрубок відведення робочого середовища.

При стисненні пластини утворюють канали: з одного боку пластини рухається продукт, з іншого - теплоносій. Герметизація каналів руху продукту і робочого середовища забезпечується встановленням на лицьовому боці пластини прокладок двох типів - великої, що майже по периметру обмежує робочу частину пластини, і малої, що обмежує рух іншого середовища.

Для забезпечення ефективного теплообміну і необхідної швидкості руху продукту (щоб запобігти утворенню пригару) пластини комплектуються в пакети і секції. Низка пластин, котрі зв'язані між собою продуктом, одним робочим середовищем і виконують однакову технологічну функцію, утворюють секцію. Так розрізняють секцію пастеризації (молоко - гаряча вода), регенерації (молоко - молоко), водяного охолодження (молоко - вода), розсільного охолодження (молоко - розсіл). Між секціями встановлені розділювальні плити, в яких передбачені канали і патрубки для підведення і відведення продукту і робочого середовища.

#### 1.4.6 Охолодник

Охолодник разом з молочним танком призначений для охолодження і зберігання молока. Він складається з молочної ванни 9 (рис. 1.12) з мішалкою 8, фреонового компресора 1, конденсатора 2, ресивера 3, фільтра - осушника 4, теплообмінника 5, випарника 6, водяного насоса 7, акумулятора холоду [12].

За 3-4 години до початку доїння вмикають компресор й здійснюють попереднє охолодження води в акумуляторі холоду та наморожування льоду на панелях випарника. Це відбувається внаслідок руху фреону по замкненому контуру. Пари фреону, які відсмоктуються з випарника 6, компресором 1 стискаються, нагріваються й нагнітаються у конденсатор 2. У ньому фреон охолоджується повітряним потоком, який утворюється за допомогою вентилятора, віддає тепло, стає рідким й зливається до ресивера 3. Під тиском він надходить до фільтра - осушника 4, охищується від парів масла, охолоджується зустрічним потоком парів фреону у теплообміннику 5 і крізь отвір у терморегулювальному вентилі вприскується у внутрішню порожнину пластин випарника 6. Опинившись у розрідженому просторі, фреон кипить (переходить з рідкої у газоподібну фазу) зі споживанням теплоти.

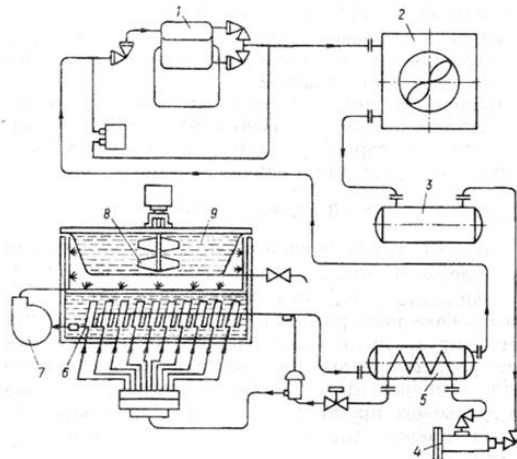


Рисунок 1.12- Технологічна схема танка-охолодника молока: 1 - компресор; 2- конденсатор; 3 - ресивер; 4- фільтр-осушник; 5- теплообмінник; 6 - випарник; 7 - водяний насос; 8 - мішалка; 9- молочна ванна.

При цьому пластини випарника охолоджуються до мінус 8-10 С і на них наморожується вода, в яку вони занурені. Перед початком подавання молока вмикають мішалку 8 і водяний насос 7. Холодна вода омиває днище молочної ванни та охолоджує молоко, що надходить до неї [24].

### 1.5 Недоліки існуючих пастеризаційних установок

До суттєвих недоліків існуючих пастеризаційних установок, що значно ускладнює роботу обслуговуючого персоналу та негативно впливає на продуктивність та якість технологічного процесу, слід віднести наступне:

- дросельне регулювання подачі молока та теплоносіїв, що призводить до нераціональних витрат електроенергії;
- відсутність системи автоматичної підтримки заданої температури молока у передбачених технологічним процесом межах;
- відсутність перепускного клапана для оперативного перемикання технологічних контурів аварійних режимах;
- відсутність електрифікованих засувок для регулювання кількості води, пари та молока залежно від потреб технологічного процесу;
- відсутність системи керування верхнього рівня, що забезпечує автоматичний режим роботи пастеризаційної установки;
- відсутність системи візуалізації та диспетчерського контролю над технологічним процесом.

Модернізація пастеризаційної установки спрямована на усунення вищезазначених недоліків, забезпечення якості технологічного процесу, підвищення надійності та зниження вартості обслуговування обладнання. В результаті будемо реалізовувати систему автоматичної підтримки заданої температури молока в межах, передбачених технологічним процесом.

### 1.6 Розробка функціональної схеми пастеризації молока

Для пастеризації молока потрібно підтримувати на заданому рівні наступні параметри:

- рівень та температуру в молоко приймачі;
- рівень молока в сепараторі-очиснику;
- температуру та рівень молока в пастеризаторі;
- температуру та рівень в молочному танку;
- тиск в трубопроводі для перекачування молока.



Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимі межі їх зміни визначають з технологічних регламентів, довідників або технічної літератури. Назви технологічних параметрів, їх номінальні значення та можливі межі відхилень від цих значень заносять в технологічну карту.

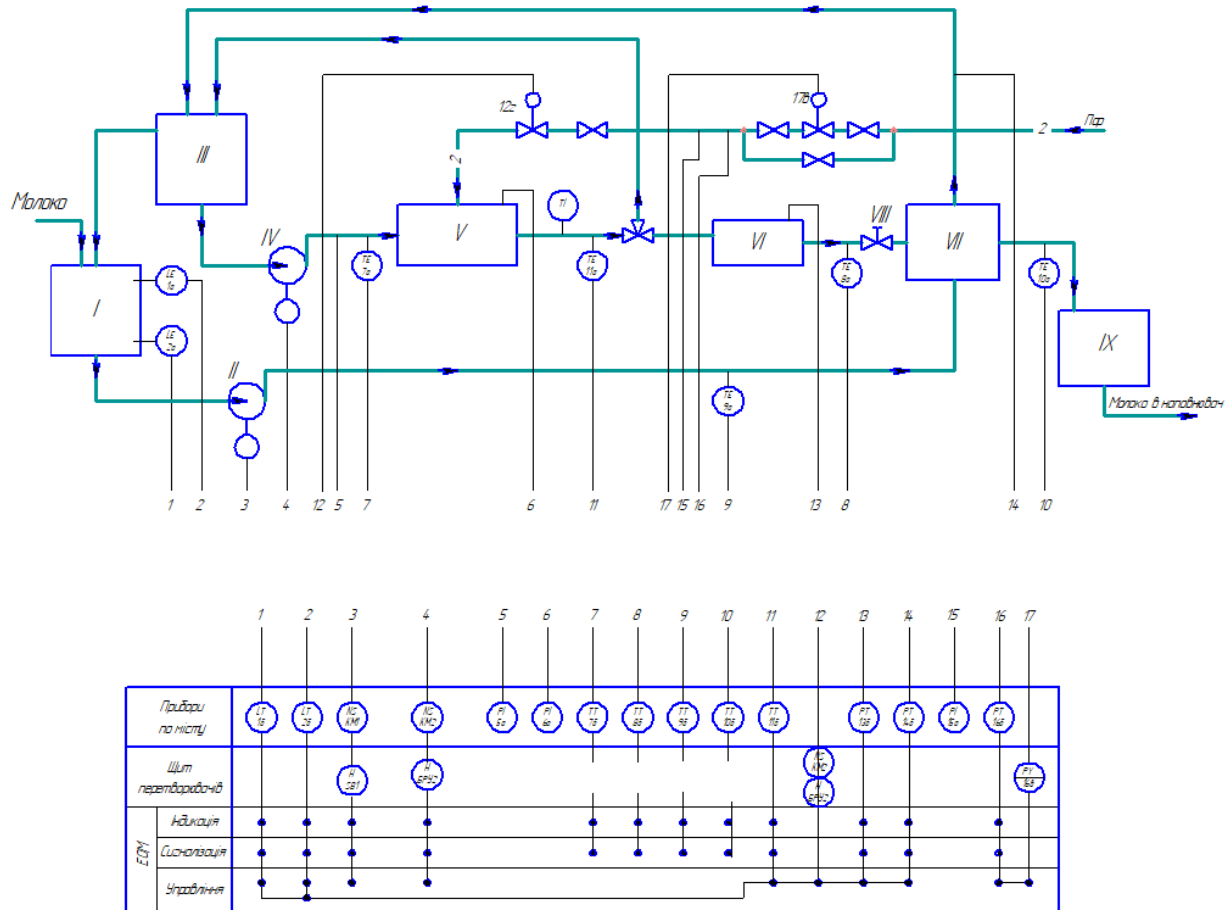


Рисунок 1.13 - Функціональна схема

I, III, IX – збірник, II, IV – насос, V – підігрівач, VI – витримувач, VII – регенератор, VIII – вентиль.

Алгоритм функціонування процесу термічної обробки в даному об'єкті зводиться до наступного: молоко з молокозбірника I насосом II подається в секцію регенеративного нагріву VII, де заздалегідь підігрівається до температури 80 °С за рахунок тепла молока, що поступає в регенератор з витримувача VI. З регенератора VII молоко поступає в збірку III, звідки насосом IV подається в підігрівач V, де нагрівається паром ( $p_n = 0,3 \text{ МПа}$ ,  $t_n = 125 \text{ °С}$ ) до температури  $95 \pm 1,5 \text{ °С}$  і прямує у витримувач VI. Тут молоко при заданій температурі нагріву

витримується протягом 60 сек. В цілях виключення скипання молока у витримувачі вентилем VIII створюється противотиск. З витримувача VI молоко прямує в регенератор VII, віддає тут частину тепла на нагрів молока, що поступає, і подається в збірник IX для подальшої розфасовки в тару.

Керованими величинами в системі є температура нагріву молока в підігрівачі і тиск енергоносія в магістралі. Противотиск регулюється вручну вентилем VIII по значенню вимірника тиску 13. Керований об'єкт працює в потоковому режимі при витримці в заданих межах температури нагріву молока.

Відповідно до алгоритму функціонування на кожній ділянці системи реалізується свій алгоритм управління, що забезпечує заданий режим роботи автоматичної системи управління. Заповнення збірки I забезпечується АСУ лінією первинної переробки молока.

Рівень продукту в молокозбірці автоматично контролюється сигналізатором рівня типу ЕРСУ – 3 (поз. 2б).

Тиск продукту перед пастеризатором V (теплообмінним апаратом) контролюється показуючим манометром типу ОБМ1 – 160 (поз. 5б), встановленим на трубопроводі продукту після мембранного розділення РМ – 5220 (поз. 5а). За допомогою показуючих манометрів, загального призначення типу ОБМ1 – 160 контролюється тиск в апараті (поз. 6а) пастеризації, в паропроводі (поз. 15а). Граничні значення тиску продукту після витримувача IV і в трубопроводі подача молока в збірку III контролюються показуючими і сигналізуючими манометрами типу МП4 – III (поз. 13б і 14б), встановленими, відповідно, на продуктопроводах після мембранних роздільників РМ – 5220 (поз. 13а і 14а).

Стабілізація тиску пари в паропроводі 16 здійснюється одноконтурною системою регулювання. Тиск в паропроводі вимірюється манометром МС – П (поз. 16а), вихідний пневматичний сигнал який поступає на вторинний прилад типу ПВ10.1е (поз. 16б). Регулюючий блок типу ПР3.31 (поз. 16в), встановлений на вторинному приладі (поз. 16б), формує регулюючий сигнал по ПІ – закон, що впливає на регулюючий клапан 25ч30нЖМ, що стабілізує тиск в паропроводі.

Температура продукту на виході з пастеризатора підтримується рівною  $95\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . Стабілізація температури здійснюється за допомогою термопреобразователя типу ТСП (поз. 11а) і місця автоматичного з пропорційно інтегральним регулюючим пристроєм типу КСМ – П (поз. 11б). У комплекті з панеллю дистанційного керування Пп12.2. Пневматичний вихідний сигнал від моста (поз. 11б) через магнітний трьохходовий клапан 22кч801бк (поз. 11в) поступає на регулюючий пристрій ПОУ (поз. 11г), який змінює витрату пари в пастеризатор V.

Електромагнітний клапан рециркуляції і подачі пари в пастеризатор управляється в двох режимах – ручному і автоматичному. Вибір режиму здійснюється ключем управління, встановленим на щиті (поз. 12а).

У автоматичному режимі клапан (поз. 11в) відкриває клапан подачі пари (поз. 11г) в пастеризатор за наявності продукту в збірці попереднього резервування I і потоку продукту через пастеризатор V (тиск в системі пастеризатор – витримувач і в трубопроводі подачі молока в збірку III не нижче  $0,35\text{ МПа}$ ).

Електромагнітний клапан (поз. 11в), керує клапаном рециркуляції (поз. 12б), відкриває останній у напрямі видачі продукції у витримувач за наявності рівня в збірці I, а також при температурі продукту на виході з пастеризатора не нижче  $95^{\circ}\text{C}$ .

При відхиленні одного з вказаних параметрів від заданого соленоїд (поз. 11в) знеструмлюється, що приводить до перемикання клапана рециркуляції (поз. 12б) на ємкість резервування (витримувача).

Схемою передбачено ручне керування електроприводами насосів II і IV. Керування здійснюється кнопками, встановленими по місцю (поз. 3а, 4а), або при перемиканні електричних кіл ключами КУ (поз. 3б і 4б) в ручний режим – за допомогою кнопок (поз. 3в і 4в), встановлених на щиті. Робота електроприводів насосів і стерилізатора сигналізується лампочками.

Поточність в керованому об'єкті забезпечена автоматичним блокуванням по всьому шляху руху продукту від збірки I до збірки IX.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

В першому розділі магістерської дипломної роботи описано призначення та загальні принципи пастеризації, основні види пастеризації. Проаналізовано основні етапи технологічного процесу пастеризації молока. Розглянуто типи пастеризаторів та їх функціональні особливості. Описано основні функціональні елементи процесу пастеризації, розглянуто їх принцип дії. На основі попереднього аналізу визначено недоліки існуючих пастеризаційних установок та розроблена функціональна схема пастеризації молока де зазначено основні етапи процесу пастеризації та регулюючі та контролюючі параметри технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 2 ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ, ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ ТА ІНШИХ ВУЗЛІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ

### 2.1 Вибір засобів виміру температури

Датчик температури використовується для неперервного вимірювання температури робочого середовища. В системі, яка розробляється, необхідно використати декілька датчиків для вимірювання температури води та молока.

В рамках роботи первинним перетворювачем температури є термометр опору. Принцип дії термометрів опору ґрунтується на властивості провідників (металів) та напівпровідників змінювати свій електричний опір в залежності від зміни їхньої температури.

Найбільше розповсюджені провідникові термоопори, які виготовляють із мідного дроту (використовуються для вимірювання температури від  $-50$  до  $180^{\circ}\text{C}$ ) або із платинового – для температур від  $0$  до  $650^{\circ}\text{C}$ . Термоопори представляють собою дріт певної довжини з діаметром  $0,07\text{мм}$ , що намотаний на стержень із ізоляційного матеріалу (наприклад, слюди). Термоопори мають при виготовленні нормоване (стандартизоване) значення  $R_0$  при  $^{\circ}\text{C}$  і зображуються як ТСМ для мідного дроту та ТСП – для платинового. Залежність термоопору від температури називається градуовальною характеристикою.

Вибираємо первинним перетворювачем сигналу температури (рис.2.1) термометр опору типу ТСП-1088 100П. Термометр опору являє собою резистор, виконаний з металевого дроту або плівки і має відому залежність електричного опору від температури. Технічні характеристики термоперетворювача типу ТСП-1088 100П:

- застосовується для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних, які не руйнують матеріал захисного чохла;

- діапазон температур від  $-50$  до  $600^{\circ}\text{C}$ ;

- номінальна статична характеристика 100П;

- клас допуску: АА;
- схема з'єднання трьох провідна;
- довжина монтажної частини  $L = 1100\text{мм}$ ;
- діаметр монтажної частини 10мм.



Рисунок 2.1- Зовнішній вигляд термометра опору

## 2.2 Вибір засобів виміру тиску

Для вимірювання тиску в трубопроводі передбачено встановлення датчика тиску (рис.2.2), який призначений для неперервного перетворення надлишкового тиску середовища в сигнал постійного струму. Для даної системи було обрано промисловий датчик тиску ОВЕН ДП100- И. Цей датчик оснащений сенсором з вимірювальною мембраною із нержавіючої сталі, що забезпечує високу точність вимірювань. Надлишковий тиск перетворює в уніфікований сигнал від 4 мА до 20 мА постійного струму.



Рисунок 2.2- Датчик тиску ОВЕН ДП100-ДИ

Технічні характеристики:

- похибка: 0.5%;
- діапазон робочих температур: від -40 °С до 100 °С;
- напруга живлення: від 12 В до 36 В;
- стійкий до механічного впливу;
- робочий атмосферний тиск: від 66 кПа до 106.7 кПа;
- верхня межа вимірювального тиску: 25 МПа.

### 2.3 Вибір засобів виміру рівня

Поплавкові рівнеміри (рис.2.3) використовуються для вимірювання рівня рідини в резервуарі. Поплавок з'єднаний через важільний пристрій з клапаном, який регулює постачання рідини з трубопроводу до резервуару. З підвищенням рівня рідини поплавок піднімається і діє на клапан, який зменшує постачання рідини.

Первинним перетворювачем сигналу рівня в системі є поплавковий датчик рівня ПДУ. Поплавкові датчики рівня - одні з найбільш недорогих і, разом з тим, надійних пристроїв для вимірювання рівня рідин.



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд датчика рівня ПДУ

Технічні характеристики датчика рівня ПДУ:

- розташування осі кріпильного отвору датчика в резервуарі: горизонтально;
- положення контакту при осушенні датчика: нормально розімкнутий;

- матеріал: нержавіюча сталь (12Х18Н10Т);
- температура вимірюваного середовища:  $-40 \dots + 105 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- максимальна потужність комутації: 10 Вт;
- максимальний комутований струм: 0,5 А;
- ступінь захисту робочої частини датчика: IP68;
- довжина кабельного виводу 0,5 м.

#### 2.4 Вибір засобів виміру витрат

Витратомір (рис.2.4) призначений для вимірювання об'ємної витрати рідин. Для системи було обрано витратомір РЕМ-100, це електромагнітний витратомір і він може застосовуватись для вимірювання в'язких рідин та різних розчинів. Для даного технологічного процесу це вимірювання витрат теплоносія (води) та молока. Витратомір вимірює кількість або об'єм рідини, що проходить по трубопроводу через нього.



Рисунок 2.4 – Витратомір РЕМ-100

Технічні характеристики:

- основна похибка: 0.5%;
- діапазон температур робочого середовища: від  $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- максимальний тиск: 1.6 МПа;
- труба перетворювача: сталь.



## 2.5 Вибір засобів вимірювання кислотності

Датчик кислотності (рН) використовується для неперервного вимірювання рівня рН в речовинах. В системі, яка розробляється датчик кислотності використовується для вимірювання кислотності молока, яке поступає.

Для автоматизованої системи було обрано промисловий датчик кислотності (рис.2.5) рН серії InPro 3250 – комбінований рН-електрод з датчиком температури Pt100. Електрод заповнений рідким електролітом під тиском 4 бара, що забезпечує точність вимірювань в різних середовищах.



Рисунок 2.5 – Датчик кислотності InPro 3250

Технічні характеристики:

- діапазон рН: від 0 рН до 14 рН;
- температурний діапазон: від 0 °С до 140 °С;
- тиск: 4 бар.

## 2.6 Розрахунок та вибір регулюючого органу і виконавчого механізму регулювання

Розрахунок регулюючих органів полягає у визначенні їх пропускну здатності  $K_v$  за максимальною витратою середовища, що протікає через регулюючий орган, і перепаду тиску  $\Delta P$ , що виникає на регулюючому органі.

Для виконання розрахунку необхідні такі вхідні дані:

Тиск на початку технологічної ділянки  $P_H=1,2$  МПа

Наприкінці технологічної ділянки  $P_k=0,6$  МПа

Максимальна витрата матеріального потоку  $G_{max}=5600$  кг/год

Мінімальна витрата матеріального потоку  $G_{min}=3000$  кг/год

Температура  $T=200^\circ\text{C}$

Густина  $\rho=4,35$  кг/м<sup>3</sup>

В'язкість  $\mu=1,97 \cdot 10^{-5}$  Па·с

Довжина  $L=20$  м

Діаметр трубопроводу  $D=30$  мм

Кінематична в'язкість  $\nu = 4,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

Сума коефіцієнтів місцевих опорів  $\sum \varphi = 5,25$

Визначаємо втрату тиску на технологічній ділянці трубопроводу при максимальній витраті,  $\Delta P_{втр}$ , МПа:

$$\Delta P_{втр} = \left( \lambda \cdot \frac{L}{D} + \sum \varphi + 1 \right) \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}, \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя;

$L$  – довжина трубопроводу, м;

$\sum \varphi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

$\rho$  – густина середовища, що протікає по трубопроводу, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – швидкість потоку, м/с.

Швидкість пари при максимальній витраті, м/с:

$$W = \frac{4 \cdot G_{max}}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot 3600}, \quad (2.2)$$

де  $G_{max}$  – максимальна витрата пари, м<sup>3</sup>/год;

$D$  – діаметр трубопроводу, м.

$$W = \frac{4 \cdot 5600}{3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 4,35 \cdot 3600} = 22,02$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W \cdot D}{\nu}, \quad (2.3)$$

$$Re = \frac{22,02 \cdot 0,3}{4,3 \cdot 10^{-6}} = 1536279,07$$

Коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \frac{0,303}{(\log Re - 0,9)^2}, \quad (2.4)$$

$$\lambda = \frac{0,303}{(\log 1536279,07 - 0,9)^2} = 0,01$$

$$\Delta P_{\text{втр}} = \left(0,01 \cdot \frac{20}{0,3} + 5,25 + 1\right) \cdot \frac{4,35 \cdot 22,02^2}{2} = 6243,32 \text{ Па}$$

Визначаємо втрату тиску на регулюючому органі при максимальній витраті перепад тиску,  $\Delta P_{\text{po}}$ , МПа:

$$\Delta P_{\text{po}} = P_{\text{н}} - P_{\text{к}} - \Delta P_{\text{втр}}, \quad (2.5)$$

де  $P_{\text{н}}$  – тиск середовища на початку технологічного трубопроводу, МПа;

$P_{\text{к}}$  – тиск середовища в кінці лінії, МПа;

$\Delta P_{\text{втр}}$  – сумарні втрати тиску середовища на технологічному ділянці трубопроводу, МПа.

$$\Delta P_{\text{po}} = 1,2 - 0,6 - 0,006 = 0,59 \text{ МПа}$$

Для вибору розрахункової формули пропускної здібності клапану визначаємо режим витікання пари:

$$P_1 = P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{втр}}; \quad (2.6)$$

$$P_1 = 1,2 - 0,59 = 0,61 \text{ МПа.}$$

$$P_2 = P_{\text{к}};$$

$$P_2 = 0,6 \text{ МПа.}$$

$$\Delta P_{\text{po}} > 0,52 \cdot P_1 \text{ (критичний режим)}$$

$$0,52 \cdot P_1 = 0,52 \cdot 0,61 \cdot 10^6 = 0,32 \cdot 10^6$$

$$0,59 \text{ МПа} > 0,32 \text{ МПа}$$

Пропускна здатність регулюючого органу водяної пари при до критичному значенні,  $K_{\gamma 1}$  і  $K_{\gamma 2}$ ,  $\text{м}^3/\text{ГОД}$ ):

$$K_{\gamma 1} = \frac{G_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{1}{(P_1 \cdot \rho)}}}{73,5}, \quad (2.7)$$

$$K_{\gamma 2} = \frac{G_{\text{min}} \cdot \sqrt{\frac{1}{(P_1 \cdot \rho)}}}{73,5}, \quad (2.8)$$

де  $G_{\max}$  і  $G_{\min}$  – максимальна витрата пари, кг/год;

$\rho$  – густини пари,  $\text{кг}/\text{см}^3$ ;

$$K_{\gamma 1} = \frac{5600 \cdot \sqrt{\frac{1}{(0,61 \cdot 4,35)}}}{73,5} = 46,77$$

$$K_{\gamma 2} = \frac{3000 \cdot \sqrt{\frac{1}{(0,61 \cdot 4,35)}}}{73,5} = 25,06$$

Умовна пропускна здатність,  $K_{v\gamma}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$  :

$$K_{v\gamma} = K_{\gamma 1} \cdot n, \quad (2.9)$$

де  $n$  – коефіцієнт запасу, приймається 1,2.

$$K_{v\gamma} = 46,77 \cdot 1,2 = 56,12$$

Обираємо по найближчому коефіцієнту умовної пропускної здібності регулюючий орган типу 25ч30нжМ, умовний прохід  $D_y=50$  мм, умовна пропускна здібність  $K_{v\gamma, \text{табл}} = 63 \text{ м}^3/\text{год}$ , умовний тиск  $P_y=1,6$  МПа, температура до  $300^\circ\text{C}$ .

Ступінь відкриття регулюючого органу при максимальній та мінімальній витраті,  $\eta_1, \%$  :

$$\eta_1 = \frac{K_{v1}}{K_{v\gamma \text{табл}}} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

$$\eta_1 = \frac{46,77}{63} \cdot 100\% = 74,24\%$$

$$\eta_1 = \frac{K_{v2}}{K_{v\gamma \text{табл}}} \cdot 100\% \quad (2.11)$$

$$\eta_1 = \frac{25,06}{63} \cdot 100\% = 39,78\%$$

де  $K_{v1}$  і  $K_{v2}$  – максимальна і мінімальна пропускна здатності;

$K_{v\gamma \text{табл}}$  – табличне значення умовної пропускної здатності для обраного регулюючого органу [19].

Виконавчий механізми клапан регулюючий VFS 2, VFS 3 фірми Danfoss показано рис. 2.5



Рисунок 2.6 - Зовнішній вигляд клапана регулюючого

VF2 Danfoss і VF3 Danfoss фланцеві сідальні клапани з логарифмічною характеристикою регулювання, бувають 2-х і 3-х ходові. Сідельні фланцеві клапани з логарифмічною характеристикою регулювання серії VF2 Danfoss, VF3 Danfoss призначені для керування потоками рідини або газу в спільній роботі з електроприводами типу AMV Danfoss, що в свою чергу дозволяє зручно монтувати даний клапан на робоче місце. Основними перевагами даного виду клапанів є довговічність, простота, низька вартість.

Двоходові фланцеві клапани VF2 Danfoss, VFS2 Danfoss, VR2 Danfoss відкриваються під час штоку вгору.

Триходові фланцеві клапани VF3 Danfoss, VFS3 Danfoss, VR3 Danfoss закривають прямий прохід А-АВ під час штока вгору.

Технічна характеристика:

- матеріал клапана: ковкий чавун EN-GJS-400-18-LT (GGG 40.3)
- характеристика регулювання: логарифмічна
- протікання (макс.) - 0,05 % kvs

Редукторні електроприводи AMV 435 та AME 435 призначені для керування регулювальними клапанами фірми " Danfoss " типу VRB, VRG, VF і VL діаметром до DN 80 від імпульсів електронних регуляторів або пристроїв з керуючим сигналом 0- 10 В або 0-20 мА, показано рис. 2.7



Рисунок 2.7 - Редукторний електропривод AMV 435

Крім пристроїв для ручного керування й індикації положення, електроприводи оснащені кінцевими вимикачами, що захищають їх, а також клапани, від механічних перевантажень, що виникають, у тому числі при досягненні штоком клапана крайніх положень.

Основні дані:

- час переміщення штока привода на 7,5с (для AMV 435);
- напруга живлення: 230/240 В змінного струму або 24 В постійного струму;
- хід штока 20 мм;

### 2.7 Вибір насосу

В системі використовується насоси для перекачування холодної та гарячої води та молока. Для молока було обрано насос для харчових (рис.2.8) рідин Mouvex серії SLS. Він підходить для перекачки не тільки молока, а інших молочних продуктів також. Матеріали та конструкція насосу адаптовані для абсолютної гігієнічності та безпеки виробництва.



Рисунок 2.8 – Насос Mouvex серії SLS

Технічні характеристики:

- температура: до 150 °С;
- витрати: до 16 м<sup>3</sup>/год;
- тиск: до 9 бар;
- матеріал корпусу: нержавіюча сталь санітарного виконання.

Для перекачування теплоносія (води) було обрано насос для циркуляції в замкнутому контурі (рис.2.9) NKM-GE.



Рисунок 2.9 – Насос для циркуляції NKM-GE

Технічні характеристики:

- номінальна потужність: 0,75 кВт;
- живлення: 3x380 В, 50 Гц;
- натиск: від 2.5 м до 6.6 м;
- продуктивність: від 6 м<sup>3</sup>/год до 18 м<sup>3</sup>/год.

## 2.8 Перетворювач частоти Atv-600

Перетворювач частоти Altivar 600 (рис. 2.10) з напругою живлення 380-480В, потужністю 0,75кВт.



Рисунок 2.10- Перетворювач частоти Altivar 600

Він використовується для система подачі рідин і газів промислових і цивільних будівель і споруд [23] (так звані HVAC\_системи: Heating Vntilation Air Conditioning):

- опалювання;
- вентиляція;
- водопостачання;
- кондиціонування повітря;

Різні варіанти комплектації перетворювача полегшують його адаптацію і інтеграцію в електроустановки і складні системи автоматизації.

Функції:

- енергозбереження;
- автоматичний повторний пуск і пошук швидкості("підхоплення на ходу");
- адаптація обмеження струму залежно від швидкості;
- функція "швидше-повільніше", заздалегідь задані швидкості;
- ПІ регулятор з попередніми завданнями;



- лічильники енергії і часу роботи;
- 4 дискретних входи, 2 релейних виходи, 2 аналогових входи і 1 аналоговий вихід;
- знімні клемники кіл управління;
- послідовний багатоточковий інтерфейс RS 485 з вбудованим протоколом Modbus. Послідовний інтерфейс застосовується для зв'язку з програмованими логічними контролерами, персональним комп'ютером, комунікаційними картами або з одним з наявних засобів програмування.

### 5.9 Вибір регулятора



Рисунок 2.11- OWEN TRM210 - ПІД-регулятор температури

OWEN TRM210 - ПІД-регулятор температури, тиску або інших фізичних величин, призначений для точної підтримки заданих параметрів у різних технологічних процесах. Використовується в складі складного технологічного обладнання: екструдерів, термопластавтоматів, печей, пакувального, поліграфічного, вакуумно-формуального обладнання тощо [20].

Клас точності регулятора 0,5/0,25.

Таблиця 2.1 Основні технічні характеристики OWEN TPM210

Напруга живлення	90-245В змінного струму
Частота напруги живлення	47...63 Гц
Універсальний вхід 1	
Час опитування входу	1 с
Вхідний опір при підключенні джерела сигналу	
– струму	100 Ом $\pm$ 0,1 % (при підключенні зовнішнього резистора)
– напруги	не менше 100 кОм
Межа допустимої основної похибки вимірювання вхідного параметра	
– для термометрів опору	$\pm$ 0,25 %
– для решти видів сигналів	$\pm$ 0,5 %
Додатковий вхід 2	
Опір зовнішнього ключа:	
– в стані «замкнено»	0...1 кОм
– в стані «разімкнено»	більше 100 кОм
Вихід	
Кількість вихідних пристроїв	2
Інтерфейс зв'язку	
Тип інтерфейса	RS-485
Швидкість передачі даних	2.4; 4.8; 9.6; 14.4; 19.6; 28.8; 38.4; 57.6; 115.2 кбіт/с
Протокол передачі даних	ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII
Умови експлуатації	
Температура повітря, навколишнього середовища	+1...+50 °С
Атмосферний тиск	86...106,7 кПа
Відносна вологість повітря (при 35 °С)	30...80 %

Таблиця 2.2 Характеристики вихідних пристроїв

Позначення	Тип вихідного пристрою (ВП)	Електричні характеристики
Р	електромагнітне реле	1 А (ПД-регулювання), 8 А (сигналізація) при 220 В 50...60 Гц, $\cos \varphi > 0,4$ або 30В постійного струму
К	транзисторна оптопара структури n-p-n типу	200 мА при 50 В постійного струму
С	симісторна оптопара	50 мА при 240 В (постійно відкритий симістор) або 0,5 А (симістор вмикається з частотою менше 50 Гц і $t_{\text{імп}} = 5$ мс)
И	цифроаналоговий перетворювач «параметр-струм 4...20 мА»	навантаження 0...1000 Ом, напруга живлення 10...30 В постійного струму
У	цифроаналоговий перетворювач «параметр-напруга 0...10 В»	навантаження більше 2 кОм, напруга живлення 15...32 В
Т	вихід для керування реле	вихідна напруга 4...6 В максимальний вихідний струм 50 мА

Функціональні можливості ПД-регулятора OWEN TRM210.

1 Універсальний вхід для підключення широкого спектру датчиків температури, тиску, вологості та ін. Терморегулятор ОВЕН TRM210 має один універсальний вхід (вхід 1) для підключення датчиків наступних типів:

- термперетворювачів опорів ТСМ 50М/100М, ТСП 50П/100П, ТСМ гр.23, ТСП гр.21, Pt100;

- термопар ТХК(L), ТХА(K), ТНН(N), ТЖК(J), ТПП(S), ТПП(R), ТПР(B), ТМК(T), ТВР (А-1, А-2, А-3);

- датчиків з уніфікованим сигналом струму 0...5 мА, 0(4)...20 мА і напруги 0...1 В, -50...+50 мВ.

2 Додатковий вхід для дистанційного керування. До додаткового входу (вхід

2) TRM210 можна підключити зовнішній ключ для дистанційного запуску/зупинки регулювання.

3 Цифрова фільтрація та корекція вхідного сигналу. ОВЕН ТРМ210 здійснює цифрову фільтрацію вхідного сигналу від перешкод та корекцію виміральної характеристики датчика (зсув, нахил).

4 Для датчиків із уніфікованим вихідним сигналом струму чи напруги здійснюється масштабування шкали.

5 ПІД-регулятор. Прилад ОВЕН ТРМ210 здійснює ПІД регулювання вимірної величини, керуючи «нагрівачем» або «холодильником».

6 Автоналаштування ПІД-регулятора за сучасним ефективним алгоритмом.

7 Дистанційний пуск та зупинка ПІД-регулятора за допомогою зовнішнього пристрою, підключеного до додаткового входу 2.

8 Існує два типи екстреної сигналізації;

8.1 Аварійна сигналізація, якщо вихід регульованої величини за заданий діапазон. Терморегулятор ОВЕН ТРМ210 контролює перебування регульованої величини в заданих межах. Прилад видає аварійний сигнал в одному з таких випадків, коли значення вимірної величини:

8.1.1 виходить за заданий діапазон;

8.1.2 перевищує уставку регулятора на задану величину;

8.1.3 менше уставки регулятора на задану величину;

8.1.4 знаходиться у заданому діапазоні;

8.1.5 аналогічно п. 8.1.1 з блокуванням 1-го спрацьовування;

8.1.6 аналогічно п. 8.1.2 з блокуванням 1-го спрацьовування;

8.1.7 аналогічно п. 8.1.3 з блокуванням 1-го спрацьовування;

8.1.8 перевищує задану величину за абсолютним значенням;

8.1.9 менше заданої величини за абсолютним значенням;

8.1.10 аналогічно п. 8.1.8 з блокуванням 1-го спрацьовування;

8.1.11 аналогічно п. 8.1.9 із блокуванням 1-го спрацьовування.

8.2 Сигналізація про обрив контуру регулювання (ЛВА) або розімкнена схема керування. Ця функція дозволяє визначити аварію у контурі регулювання. Прилад контролює швидкість регульованої величини і видає сигнал, якщо при

подачі максимального впливу керуючого вимірюване значення регульованої величини не змінюється протягом певного часу.

Тип аварійної сигналізації задається користувачем.

9 Терморегулятор ОВЕН ТРМ210 керує навантаженням спільно з приладом ОВЕН БУСТ одним із двох методів:

- імпульсним (якщо вихід ПІД-регулятора – електромагнітне реле, транзисторна оптопара, симісторна оптопара, вихід для керування зовнішнім твердотілим реле);

- аналоговим (якщо вихід ПІД-регулятора – ЦАП 4...20 мА або 0...10 В).

10 ДВА ВИХОДИ в будь-яких комбінаціях: електромагнітне реле, оптосимістор, оптотранзистор, «струмова петля» 4...20 мА, уніфікована напруга 0..10 В, спеціалізований вихід для керування зовнішнім реле твердотілого.

11 У ТРМ210 встановлено модуль інтерфейсу RS-485, організований за стандартним протоколом ОВЕН, Modbus ASCII/RTU.

Інтерфейс RS-485 дозволяє:

- конфігурувати пристрій на ПК (програма-конфігуратор надається безкоштовно);

- передавати в мережу поточні значення вимірюваної величини та вихідної потужності регулятора, а також будь-яких параметрів, що програмуються.

12 Підключення ТРМ210 до ПК здійснюється через адаптер ОВЕН АС3-М або АС4.

13 При інтеграції ТРМ210 в АСУ ТП як програмне забезпечення можна використовувати SCADA-систему Owen Process Manager або іншу програму.

14 Компанія ОВЕН безкоштовно надає для ТРМ210:

- драйвер для Trace Mode;
- OPC-сервер для підключення приладу до будь-якої SCADA-системи або іншої програми, що підтримує OPC-технологію;
- бібліотеки WIN DLL для швидкого написання драйверів.

15 При автоналаштуванні прилад обчислює оптимальні для даного об'єкта значення коефіцієнтів ПД-регулювання, а також постійну часу цифрового фільтра та період керування імпульсів.

16 Рівні захисту параметрів для різних груп фахівців.

17 Загальна схема підключення ТРМ210 [20]

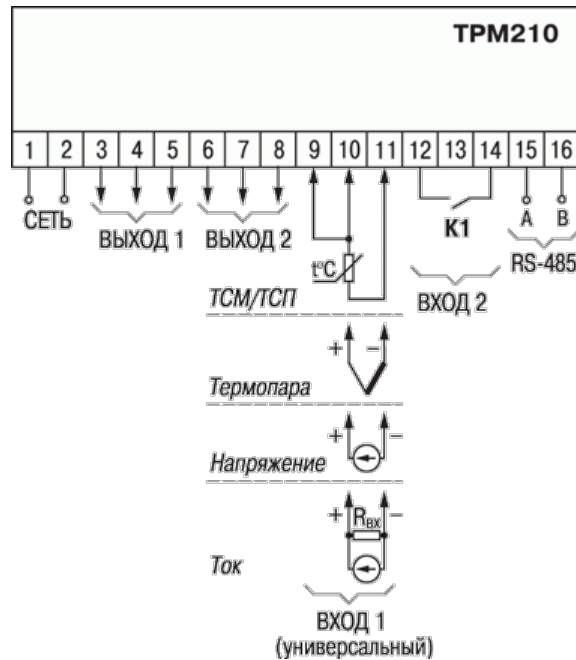


Рисунок 2.12 Загальна схема підключення ТРМ210

## 2.10 Вибір інтерфейсу

Інтерфейс RS-485 (інша назва – EIA/ TIA-485) – один з найпоширеніших стандартів фізичного рівня зв'язку. Фізичний рівень – це канал зв'язку й спосіб передачі сигналу (1 рівень моделі взаємозв'язку відкритих систем OSI).

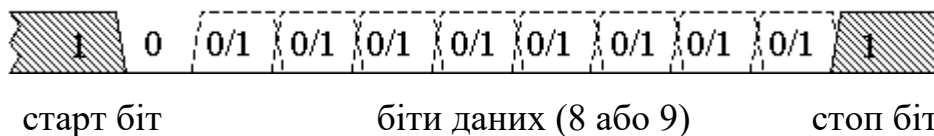


Рисунок 2.13- Вид електричного кадра послілки по інтерфейсу RS 485

Сітка, побудована на інтерфейсі RS-485, являє собою прийомо-передавачі, з'єднані за допомогою виті пари – двох скручених проводів. В основі даного інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної передачі даних.

Суть його полягає в передачі одного сигналу по двох проводах. Причому по

одному проводу (умовно А) іде оригінальний сигнал, а по іншому (умовно В) – його інверсна копія. Інакше кажучи, якщо на одному проводі «1», то на іншому «0» і навпаки. Таким чином, між двома проводами виті пари завжди є різниця потенціалів: при «1» вона позитивна, при «0» – негативна.

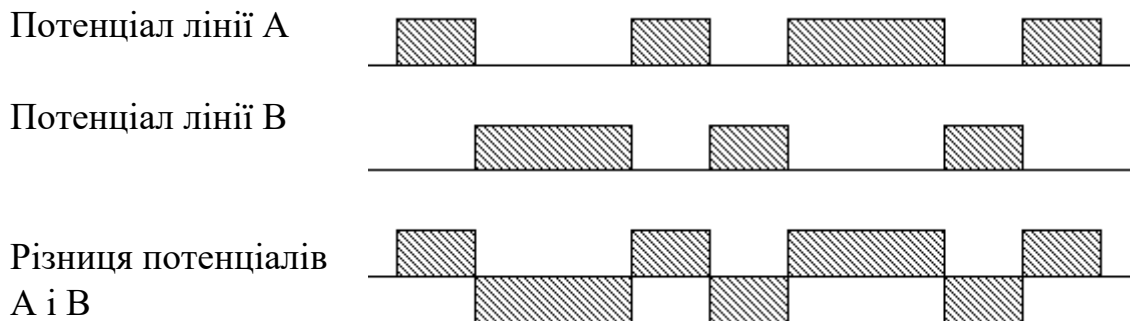


Рисунок 2.14 - Вид сигналу на виході мікросхеми

Саме такою різницею потенціалів і передається сигнал. Такий спосіб передачі забезпечує високу стійкість до синфазної перешкоди. Справді, якщо два провідники прокладені близько один до одного, та ще і вита пара, то наведення в двох провідниках однакові. Потенціал в обох однаково навантажених провідниках змінюється однаково, при цьому інформативна різниця потенціалів залишається без змін.

Апаратна реалізація інтерфейсу – мікросхеми прийомопередатчиків з диференціальними входами/виходами (до лінії) і цифровими портами (до портів UART контролера). Існують два варіанти такого інтерфейсу: RS-422 і RS-485.

RS-422 – повно дуплексний інтерфейс. Прийом і передача йдуть по двох окремих парах провідників. На кожній парі провідників може бути тільки по одному передавачу.

RS-485 – напівдуплексний інтерфейс. Прийом і передача йдуть по одній парі провідників з поділом у часі. У мережі може бути багато передавачів, тому що вони можуть відключатись в режимі прийому.

Прийомопередавач RS-485. Цифровий вихід приймача (RO) підключається до порту приймача UART (RX). Цифровий вхід передавача (DI) до порту передавача UART (TX). Оскільки на диференціальній стороні приймач і передавач з'єднані, то під час прийому потрібно відключати передавач, а під час

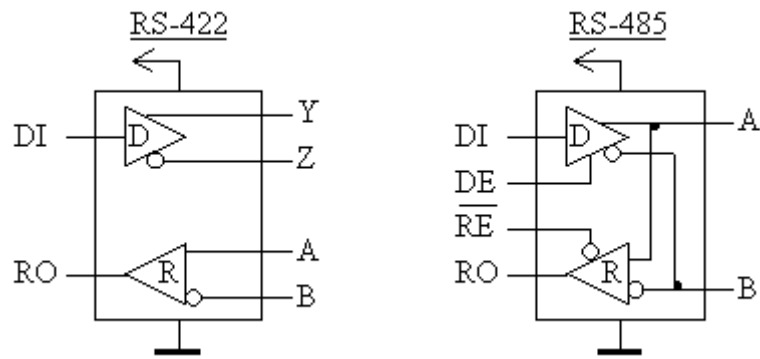


Рисунок 2.15- Структура інтерфейсів RS-422 та RS-485

D (driver) - передавач; R (receiver) - приймач; DI (driver input) - цифровий вхід передавача; RO (receiver output) - цифровий вихід приймача; DE (driver enable) - дозвіл роботи передавача; RE (receiver enable) - дозвіл роботи приймача; А- прямий диференціальний вхід/вихід; В- інвертуючий диференціальний вхід/вихід; Y- прямий диференціальний вихід ( RS-422); Z- інвертуючий диференціальний вихід ( RS-422)передачі – приймач. Для цього служать керуючі входи – дозвіл приймача (RE) і дозвіл передавача (DE). Так як вхід RE інвертуючий, то його можна з'єднати з DE і перемикаати приймач і передавач одним сигналом з будь-якого порту мікроконтролера [19]. При рівні «0» – робота на прийом, при «1» – на передачу.

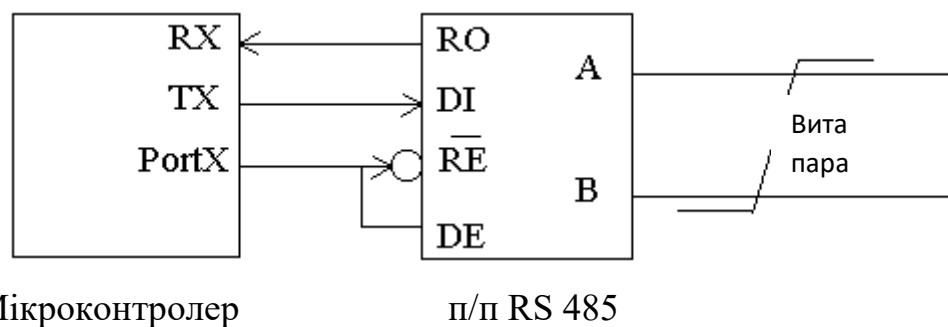


Рисунок 2.16 - Підключення мікроконтролера по інтерфейсу RS 485

Приймач, одержуючи на диференціальних входах (АВ) різницю потенціалів ( $U_{AB}$ ) переводить їх у цифровий сигнал на виході RO. Чутливість приймача може бути різною. Зазвичай ці пороги становлять  $\pm 200$  мВ. Тобто, коли  $U_{AB} > +200$  мВ – приймач визначає «1», коли  $U_{AB} < -200$  мВ – приймач визначає «0». Якщо різниця потенціалів у лінії менша, то – правильне



розпізнавання сигналу не гарантується. У лінії, крім того, можуть бути і не синфазні перешкоди, які спотворять настільки слабкий сигнал.

Всі пристрої підключаються до однієї витої пари однаково: прямі виходи (А) до першого провідника, інверсні (В) – до іншого.

Вхідний опір приймача з боку лінії (RAB) звичайно становить 12 кОм. Тому потужність передавача не безмежна, це створює обмеження на кількість приймачів, підключених до лінії. Відповідно до специфікації RS-485 з урахуванням резисторів, передавач може вести до 32 приймачів. Однак є ряд мікросхем з підвищеним вхідним опором, що дозволяє підключити до лінії значно більше ніж 32 пристрої.

Таблиця 2.3 Стандартні параметри інтерфейсів RS-485, RS-422

Параметри інтерфейсу	RS-422	RS-485
Припустиме число передавачів / приймачів	1/10	32/32
Максимальна довжина кабелю	1200 м	1200 м
Максимальна швидкість зв'язку	10 Мбіт/с	10 Мбіт/с
Діапазон напруги «1» передавача	+2...+10 В	+1.5...+6 В
Діапазон напруги «0» передавача	-2...-10 В	-1.5...-6 В
Діапазон синфазної напруги передавача	-3...+3 В	-1...+3 В
Допустимий діапазон напруги приймача	-7...+7 В	-7...+12 В
Параметри інтерфейсу	RS-422	RS-485
Граничний діапазон чутливості приймача	±200 мВ	±200 мВ
Максимальний струм короткого замикання драйвера	150 мА	250 мА
Припустимий опір навантаження передавача	100 Ом	54 Ом
Вхідний опір приймача	4 кОм	12 кОм
Максимальний час наростання сигналу передавача	10% біта	30% біта.

Максимальна швидкість зв'язку по специфікації RS-485 може досягати 10 Мбіт/с. Максимальна відстань – 1200 м. Якщо необхідно організувати зв'язок на відстані більше 1200м або підключити більше пристроїв, ніж навантажувальна здатність передавача - застосовують спеціальні повторювачі (репітери).

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

В другому розділі магістерської дипломної роботи приведена технічна реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи контролю і регулювання параметрів процесу пастеризації. На основі параметрів було вибрано і описано основні характеристики призначення засобів вимірювання температури, тиску, виміру, виміру витрат, засобів вимірювання кислотності. На основі розрахунків зроблено вибір регулюючого органу і виконавчого механізму регулювання. Приведено параметри насосів для перекачування молока та теплоносія, для регулювання обертів двигуна вибрано, перетворювач частоти. Для регулювання параметрів технологічного процесу вибрано регулятора та інтерфейсу.

## РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

### 3.1 Синтез регулятора

Визначимо сталу часу регулювання за формулою:

$$T = R \cdot C, \quad (3.1)$$

де  $R$ - тепловий опір ємності,  $\text{кДж} / \text{с} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$C$ - теплоємність рідини,  $\text{кДж} / ^\circ\text{C}$ ;

$$C = V \cdot \rho \cdot c, \quad (3.2)$$

де  $c$ - питома теплоємність води;

$$c \approx 4,19 \text{кДж} / \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$$

Об'єм ємності для установки пастеризації ОПФ-1 складає 30 л.

$$V = 30 \text{л} = 0,03 \text{м}^3$$

Поверхня випарювання води  $F_{\text{ж}} = 2,5 \text{м}^2$ . Втратами тепла з ємності в навколишнє середовище шляхом тепловіддачі через незначну величину ігноруємо і вважаємо  $A_1 \approx 0$ ;

$$R = 1 / A_1 + A_2 \quad (3.3)$$

В навколишнє середовище через поверхню випарювання відбуваються втрати, які нелінійно залежать від температури рідини, але у визначеному інтервалі температур ( $t < 100^\circ\text{C}$ ), цю залежність можна лінеаризувати.

Для заданої температури рідини від  $30^\circ\text{C}$  до  $60^\circ\text{C}$  при температурі навколишнього середовища  $20^\circ\text{C}$   $\kappa = 0,15$ .

$$A_2 = 0,15 \cdot 2,5 = 0,3275 \text{кДж} / \text{с} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Звідси } T = 0,03 \cdot 1000 \cdot 4,19 / 0,3275 = 33,7 \text{с}$$

Таким чином, передочна функція об'єкта регулювання має вид наступний вигляд

$$W(p) = \frac{100}{33,7p + 1}, \quad (3.4)$$

ПД-регулятор має передаточну функцію:

$$G_c(S) = K_1 + \frac{K_2}{S} + K_3S \quad (3.5)$$

Велику популярність ПД-регуляторів можна в якійсь мірі пояснити їх робастністю в різних умовах роботи та з іншого боку їх: функціональною простотою, що полегшує інженерам їхню експлуатацію. Для застосування таких регуляторів у системі управління конкретним об'єктом, треба просто налаштувати три параметри: коефіцієнт пропорційності, коефіцієнт у каналі інтегрування і коефіцієнт у каналі диференціювання.

Особливо корисні ПД-регулятори з погляду зменшення сталої помилки і покращення вигляду перехідної характеристики, коли об'єкт управління  $G(S)$  має один або два полюси.

Вибір трьох коефіцієнтів ПД-регулятора є задача відшукування потрібної точки в тривимірному просторі. Кожна точка цього простору відповідає різним комбінаціям трьох параметрів ПД-регулятора. Вибираючи різні точки в просторі параметрів, можливо, наприклад, одержати різний вигляд реакції системи на східчатий вхідний сигнал. ПД-регулятор можна підібрати шляхом пошуку потрібної точки в просторі параметрів методом проб і помилок.

У виборі зазначених трьох коефіцієнтів головна проблема полягає в тому, що ці коефіцієнти не дуже просто поставити у відповідність показники якості і робастності, які хоче мати проектувальник. Для вирішення цієї проблеми існує ряд правил і методів. Перший метод синтезу заснований на використанні оцінки якості ІВМП і оптимальних значень коефіцієнтів характеристичного полінома замкнутої системи (див. таблицю 5.6 для східчастого і таблицю 5.7 для лінійного вхідних сигналів) [11]. Таким способом можемо вибрати три коефіцієнти ПД-регулятора, які мінімізують оцінку ІВМП, при якій система має прекрасну реакцію на східчастий або лінійний сигнал. Етапи синтезу наступні:

1 За заданим часом встановлення визначаємо параметр  $W_n$  замкнутої системи.

2 Використовуючи відповідне вираження з таблиці 5.6 і значення  $W_n$  з етапу 1, визначити три коефіцієнти передатної функції  $G_c(S)$ .

3 Визначити попередній фільтр  $G_p(S)$  так, щоб передатна функція замкнутої системи не мала нулів.

Розглянемо існуючі оцінки якості.

Оцінка якості — це чисельний показник якості системи, який вибирається для підкреслення найбільш важливої вимоги до системи.

Система вважається оптимальною системою управління, якщо її параметри обрані таким чином, що оцінка якості приймає екстремальне (звичайно мінімальне) значення. Щоб оцінка якості мала реальний сенс, вона повинна являти собою число, що завжди більше або дорівнює нулеві. Тому найкращою системою буде та, у якій ця оцінка має мінімальне значення.

Одним з видів оцінки якості служить інтеграл від квадрата помилки (ІКП), який визначається:

$$IKP = \int_0^T e^2(t) dt \quad (3.6)$$

Для того щоб інтеграл прагнув до кінцевого значення верхню межу інтегрування  $T$  вибирається досить довільно, зазвичай зручно вибирати  $T$  рівним часу встановлення  $T_s$ . Цей критерій дозволяє виділяти системи з дуже великим і дуже малим згасанням. Мінімальне значення інтеграла буде при компромісному коефіцієнті загасання. Оцінка формулою (3.6) зручна в практичному застосуванні, так як легко можуть бути реалізовані схеми зведення в квадрат. До того ж квадрат помилки зручний з математичної точки зору при аналітичних розрахунках і обчисленнях на ЕОМ.

Іншим видом оцінки якості є інтеграл від модуля помилки (ІМП), що визначається:

$$IMP = \int_0^T |e(t)| dt \quad (3.7)$$

Цей показник зокрема зручний при імітаційному моделюванні систем на комп'ютері.

Щоб зменшити внесок великої початкової помилки в інтеграл (3.7) і врахувати помилку, що з'являється надалі, була використана наступна оцінка, яка визначається як інтеграл від зваженого модуля помилки (ІВМП).

$$ІВМП = \int_0^T t |e(t)| dt \quad (3.8)$$

Досить схожим показником є інтеграл від зваженого квадрата помилки (ІВКП):

$$ІВКП = \int_0^T t e^2(t) dt \quad (3.9)$$

Оцінка якості ІВМП є найкращою із розглянутих, тому що за її допомогою найпростіше знаходити мінімальне значення інтеграла при зміні параметрів системи. У загальному випадку інтеграл, яким можна оцінити якість системи, виглядає так:

$$I = \int_0^T f[e(t), r(t), y(t), t] dt \quad (3.10)$$

де  $f$  - функція помилки, вхідного і вихідного сигналів, а також часу.

Використовуючи різні комбінації змінні системи і часу, можна одержати багато різних оцінок якості. Можна вважати, що практичну цінність найчастіше становлять оцінки ІМП і ІКП .

Оцінки якості відіграють велику роль при аналізі і синтезі систем управління.

### 3.1.1 Робастна система регулювання температури

Розглянемо систему управління, зображену на рисунку 3.1, і синтезуємо регулятор температури об'єкта, що має передаточну функцію:

$$G(p) = \frac{100}{33.7p+1}$$

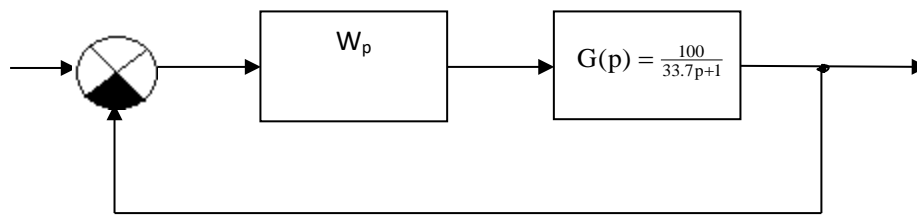


Рисунок 3.1- Структурна схема системи управління

$$K_{oc} = \frac{K_p K_o}{1 + K_p K_o}; \quad (3.11)$$

$$K_{oc} = 1 - \frac{\delta}{100\%}; \quad (3.12)$$

де  $K_o = 100$ ;

$K_p = 1$  - коефіцієнт пропорційності;

Потрібно, щоб час встановлення був менше ніж 5с, а система була оптимальною за критерієм ІВМП. Для цієї мети ми використовуємо ПД-регулятор:

$$G(s) = \frac{DS^2 + KS + I}{S}$$

При відсутності попереднього фільтра [ $G_p(S)=1$ ] замкнута система буде мати наступну передаточну функцію:

$$T_1(S) = \frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{G_s G(S)}{1 + G_s G(S)};$$

$$T_1(S) = \frac{DS^2 + KS + I}{33.7S^2 + DS^2 + S + KS + I} = S^2 + \frac{K+1}{33.7+D}S + \frac{I}{33.7+D};$$

Оптимальні значення коефіцієнтів характеристичного полінома, що забезпечують мінімум оцінки ІВМП, знайдемо по таблиці 5.6 [11]:

$$S^2 + 1.4W_n S + W_n^2$$

Параметр  $W_n$  треба вибрати, виходячи з вимоги до часу встановлення. Оскільки  $T_p = 4/\xi \cdot W_n = 5c$ ; а  $\xi = 0.097$ , виберемо  $W_n = 8c^{-1}$ . Тоді, прирівнюючи вираз, знайдемо значення коефіцієнтів  $D$  і  $I$ . Маємо  $D = 1.2$ ,  $I = 0.22$

Розглянемо моделювання об'єктів у системі Matlab 6.0, враховуючи те, що синтез ПІД-регулятора був оціночним, то більш точні налаштування параметрів отримаємо за допомогою функції NCD. Відмінною рисою NCD при великій кількості невідомих (D, K, I) є те, що процес добору оптимальних параметрів забирає тривалий час і не завжди східчастий. Особливе значення приділяється підборі початкових значень. Тому за початкові значення приймемо розрахункові, отримані при синтезі регулятора. Модель якого наведено на рисунку 3.2. Перехідний процес системи без регулятора наведено на рисунку 3.3, а, з регулятором – на рисунку 3.3, б

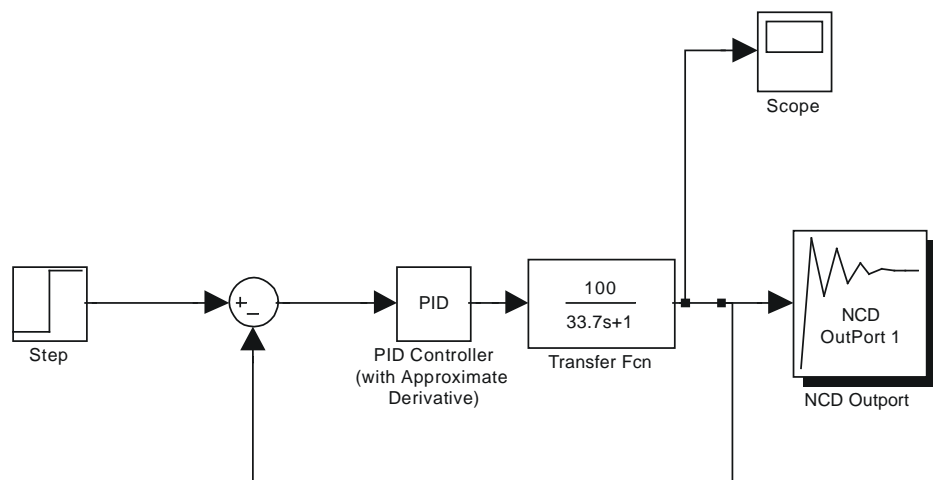
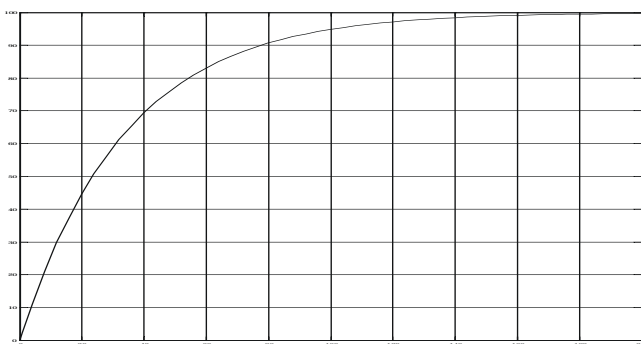
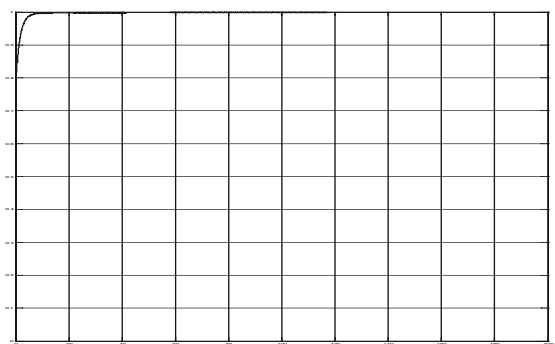


Рисунок 3.2- Модель системи регулювання температури



а)



б)

Рисунок 3.3- Перехідний процес системи без регулятора (а)  
та з регулятором (б)



### 3.2 Розробка алгоритму програми для мікроконтролера

Для нормальної роботи регулятора необхідно, щоб мікроконтролер керував периферійними модулями приладу відповідно до програми, записаної в його ППЗП. Така програма являє собою покроковий опис інструкцій для ядра мікроконтролера в залежності від поточного режиму роботи.

Програма написана по модульному принципі. В головному циклі програми виробляються основні дії. Всі повторювані дії описані у виді автономних функцій, і їхній виклик відбувається в міру необхідності з головного циклу.

Опишемо основний режим роботи програми мікроконтролера. Блок-схема алгоритму роботи основної програми приведена в Додатку Б

1 Перед початком роботи або після того як на мікроконтролер поданий сигнал RESET, мікроконтролер робить початкову ініціалізацію всіх периферійних модулів, очищення службових регістрів, налаштування модуля АЦП, УАРТ... і т.д., процес початкової ініціалізації закінчується процедурою читання заданих даних з енергонезалежної пам'яті.

2 Наступним кроком після ініціалізації є перевірка стану ОЗП і коректності заданих констант. У випадку невідповідності поточних установок з установками EEPROM виводиться повідомлення про помилку і припиняється робота.

3 Перевіряється зв'язок приладу з ЕОМ.

4 Запускається таймер T0

5 Перевіряється стан таймера. Якщо  $T0=0$ , то виконується прийом даних з датчика, обчислення закону впливу, що задає, і в залежності від розрахованих значень, виконується відкривання або закривання засувки шляхом включення відповідного тиристора оптопари.

6 Якщо стан таймера T0 не дорівнює 0, то виконуються допоміжні процедури: опитування клавіатури, вивід на індикатори, обмін даними з ЕОМ.

Мікроконтролер обробляє головний цикл програми поки не відбудеться випадковий збій або не буде відключене живлення. У першому випадку відбувається автоматичний перезапуск мікроконтролера і виконується

процедура самотестування [17]. В другому випадку після повторної подачі живлення відбувається новий запуск програми.

При повторному включенні, якщо не змінився режим його роботи, немає необхідності переналагоджувати прилад.

### 3.3 Програмування мікроконтролера

#### 3.3.1 Загальні відомості

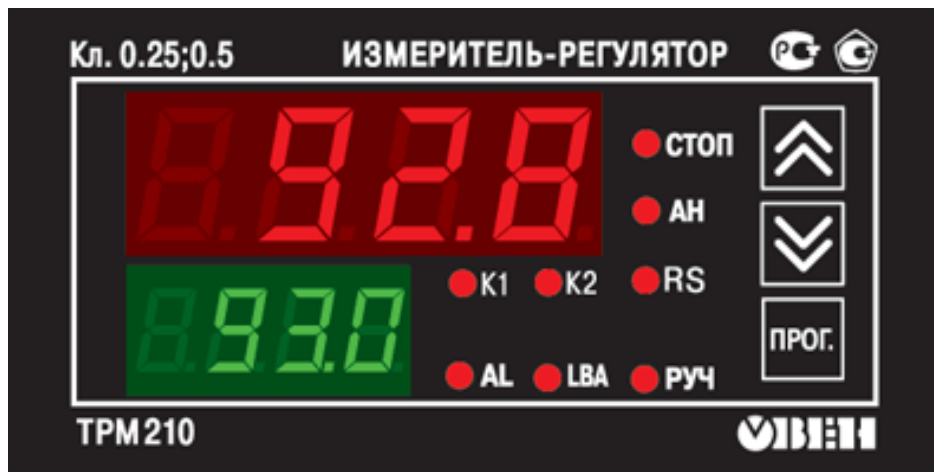


Рисунок 3.4 – Регулятор TRM210

Два цифрові індикатори в режимі роботи відображають:















- верхній індикатор – поточне значення регульованої величини;
- нижній індикатор – значення її уставки.

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ цифрові індикатори відображають назву та значення параметра, що програмується.

Програмування можна проводити двома способами: за допомогою кнопок на передній панелі приладу, або на ПК за допомогою спеціальної програми.

Після першого вмикання та випробування приладу необхідно відключити живлення виконавчих пристроїв, після чого задати потрібні значення програмованих параметрів.

Таблиця 3.1 Функції кнопок передньої панелі регулятора

	Кнопками із зображенням стрілок можна коригувати значення уставки безпосередньо в процесі роботи (якщо знято захист від зміни уставки)
	- Вхід до МЕНЮ програмування; - Вхід у потрібну групу параметрів; - Циклічне прогортання параметрів у групі (при кожному натисканні кнопки значення поточного параметра записується на згадку)
	Перехід між пунктами МЕНЮ
	Збільшення значення параметра
	зменшення значення параметра
	У деякі групи параметрів можна потрапити лише через пароль, який набирається після одночасного натискання цих трьох кнопок
Світлодіоди, які показують стан, в якому знаходиться прилад	
 «СТОП»	Регулятор зупинено
 «АН»	Іде автоналаштування
 «РУЧ»	Прилад знаходиться в режимі ручного управління
 «RS»	Прилад здійснює обмін даними с мережею RS 485
 «K1»	Включено ВП1
 «K2»	Включено ВП2
 «AL»	Регульована величина виходить за задані параметри
 «LBA»	Виник обрив в колі регулювання

Програмовані параметри задаються користувачем під час програмування та зберігаються при відключенні живлення в незалежній пам'яті. Основні параметри приладу об'єднані в 5 груп: LuoP, init, Adu, Conn та LnAn, що становлять меню приладу (рис. 3.5)

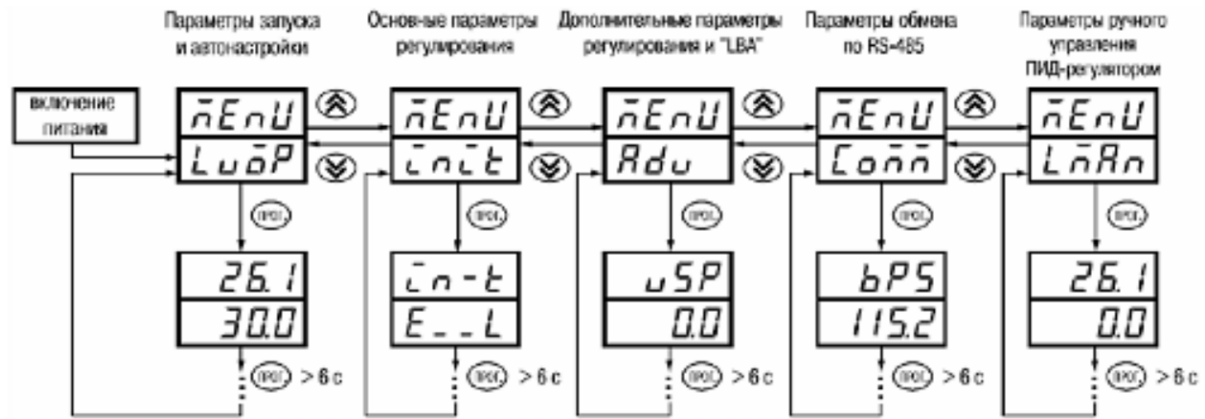


Рисунок 3.5 - Меню приладу

До групи Luop включені параметри, що управляють запуском регулювання, включенням автоналаштування, а також уставка.

У групу init включені параметри налаштування входу пристрою, вихідних пристроїв, пристроїв сигналізації.

До групи Adv включені параметри додаткових налаштувань регулятора.

У групу Conn включені параметри налаштування інтерфейсу RS-485.

До групи LnAn включені параметри ручного керування ПІД-регулятором.

Перехід між заголовками груп меню здійснюється кнопками «Л» (до наступного) та «V» (до попереднього). Перехід до першого параметра кожної групи здійснюється коротким натисканням кнопки [ПРОГ], а повернення в заголовок групи (з будь-якого параметра групи) – тривалим (більше 3 с) натисканням кнопки [ПРОГ].

Для входу до спеціальних режимів роботи приладу використовуються комбінації кнопок:

[ПРОГ] + «Л» + «V» - для переходу до встановлення кодів доступу, при цьому на індикаторі висвічується повідомлення PASS 0

У режимі ПРОГРАМУВАННЯ:

[ПРОГ] + «Л» - для відображення та редагування дробової частини значення програмованого параметра;

[ПРОГ] + «V» - для повернення в режим відображення та редагування цілої частини значення параметра, що програмується.

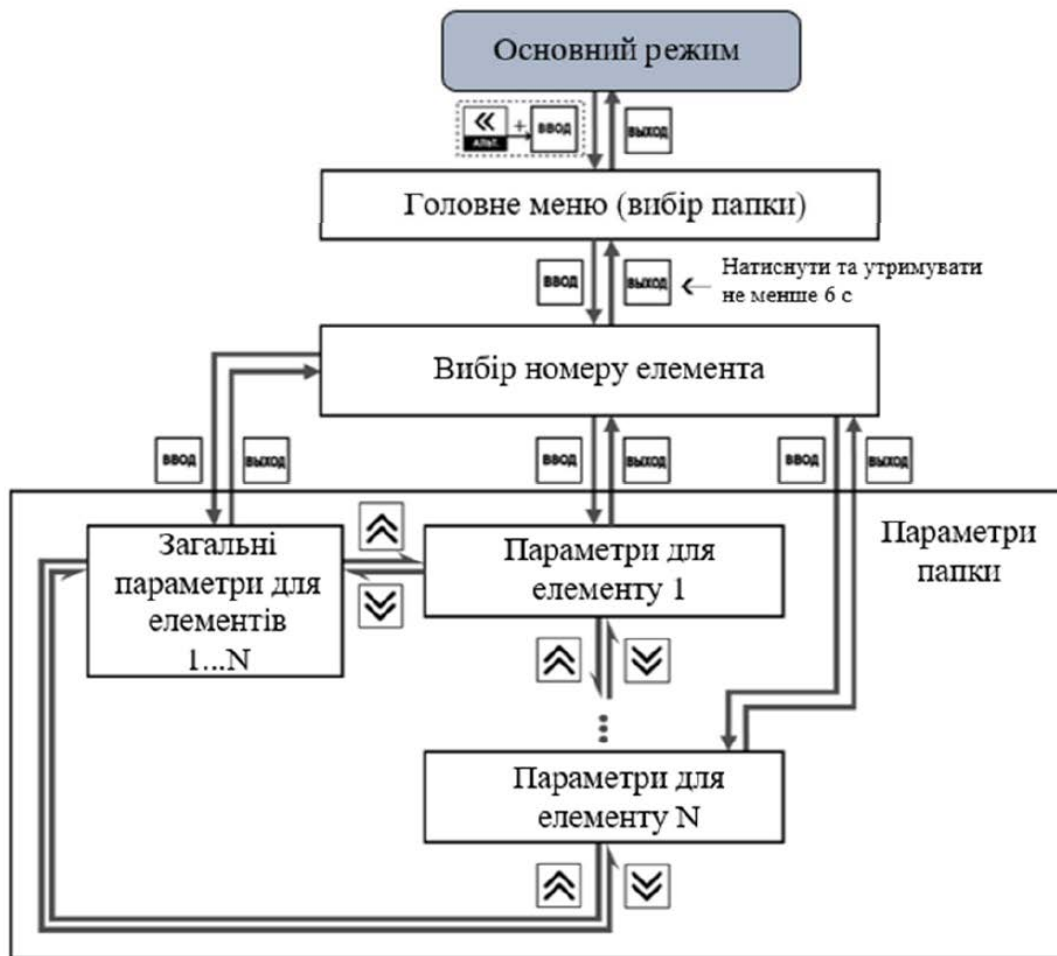


Рисунок 3.6 - Загальна схема задання параметрів

### 3.3.2 Порядок програмування

3.3.2.1 Встановлення параметрів основного (вимірювального) входу здійснюється перебуваючи в режимі РОБОТА, натиснути кнопку [ПРОГ] і утримувати щонайменше 3 секунди, переходимо в меню LuoP. Натиснувши кнопку "Λ", переходимо в меню init.

Задати значення параметра in-t відповідно до типів датчиків.

При використанні ТС та ТП можна встановити бажану точність відображення виміряної температури на індикатор. Для цього необхідно встановити параметр dPt.

При використанні датчиків з уніфікованим вихідним сигналом струму або напруги необхідно провести налаштування діапазону вимірювання, задавши значення параметрів:

dP – положення десяткової точки;

in-L - нижня межа діапазону виміру;

in-H - верхня межа діапазону виміру.

Корекція вимірювань проводиться приладом після завдання необхідних значень параметрів SH – зсув вимірювальної характеристики датчика, KU – нахил вимірювальної характеристики датчика.

### 3.3.2.2 Встановлення параметрів цифрового фільтра.

Налаштування цифрового фільтра вимірювань здійснюється шляхом встановлення двох параметрів: Fb – смуга цифрового фільтра та inF – постійна часу цифрового фільтра. Оптимальне значення постійного часу цифрового фільтра inF визначається під час автоналаштування.

Значення inF допускається встановлювати в діапазоні від 0 до 999с, при inF = 0 фільтрація методом експоненційного згладжування відсутня.

Значення Fb встановлюється в діапазоні від 0 до 9999 С/с для температурних датчиків (ТСП, ТСМ і ТП), від 0 до 9999 - для аналогових.

При Fb = 0 "обмежувач одиничних перешкод" вимкнений.

### 3.3.2.3 Встановлення параметрів ВП приладу.

В приладі TRM210 на ВП1 може бути подано тільки значення вихідного сигналу регулятора, ВП2 - сигнал компаратора, пристрою «ЛВА» (для ВП2 ключового типу) або значення вимірної величини (ВП2 аналогового типу).

При використанні аналогового ВП2 як реєстратора необхідно визначити діапазон роботи ВП2 шляхом встановлення параметрів:

Ap-L - нижня межа діапазону реєстрації;

Ap-H – верхня межа діапазону реєстрації.

### 3.3.2.4 Встановлення параметрів процесу регулювання.

Зміна уставки здійснюється зміною значення параметра SP. Діапазон установки SP обмежується параметрами SL-L та SL-H:

– SL-L – нижня межа діапазону завдання уставки;

– SL-H – верхня межа діапазону завдання уставки.

Для конкретної системи регулювання потрібно вибрати спосіб керування, задавши відповідні значення параметра  $orEU$ :

- $or-r$  – зворотне керування, використовується для систем нагрівання;
- $or-d$  – пряме керування, використовується для систем охолодження.

Прилад може працювати в одному з двох режимів регулювання – двопозиційне або ПД-регулювання. Встановлення необхідного режиму здійснюється встановленням потрібного значення  $CntL$ :

- $Pid$  - ПД-регулювання;
- $onoF$  – двопозиційне регулювання.

Гістерезис двопозиційного регулятора  $\Delta$  (в одиницях вимірюваної величини) задається у параметрі  $Hyst$ .

Зона нечутливості задається в параметрі  $dB$ .

Обмеження вихідного сигналу здійснюються параметрами  $oL-L$ ,  $oL-H$  та  $orL$ .

Обмеження мінімального значення вихідного сигналу  $oL-L$  встановлюється у відсотках і може набувати значень від 0 до  $oL-H$ . Якщо розраховане значення вихідного сигналу, у тому числі в режимах «помилка» та «зупинка регулювання», менше встановленого у параметрі  $oL-L$ , на вихід регулятора буде видано сигнал  $oL-L$  (%).

Обмеження максимального значення вихідного сигналу  $oL-H$  встановлюється у відсотках і може набувати значень від  $oL-L$  до 100. Якщо розраховане значення вихідного сигналу, у тому числі в режимах "помилка" та "зупинка регулювання", більше встановленого у параметрі  $oL-H$ , на вихід регулятора буде видано сигнал  $oL-H$  (%).

Обмеження швидкості зміни вихідного сигналу встановлюється у параметрі  $orL$  і визначає максимально допустиму швидкість зміни вихідного сигналу, що встановлюється у відсотках за секунду (%/с).

При імпульсному режимі керування (вихідний пристрій ключового типу) необхідно задати період проходження керуючих імпульсів – параметр  $CP$ . При аналоговому керуванні значення параметра  $CP$  не впливає на роботу пристрою.

Значення періоду проходження CP визначається під час проведення автоналаштування. Параметр CP слід встановлювати в діапазоні від 1 до 250 с.

3.3.2.5 Встановлення параметрів режиму ручного керування ПІД-регулятором можна перейти лише за наступної комбінації значень параметрів:

- CntL = Pid

- r-S = rUn

- At = StoP

І тут з'являється група LnAn.

При переході до першого параметру групи LnAn (коротке натискання кнопки [ПРОГ]) прилад встановлює режим ручного керування, регулятор автоматично вимикається, засвічується світлодіод РУЧ, на верхньому індикаторі відображається значення вимірної величини, на нижньому – значення вихідного сигналу регулятора o-Ed.

Оператор кнопками «Λ» і «V» встановлює значення o-Ed в діапазоні від 0 до 100, а прилад здійснює перетворення цього сигналу для управління ВУ1 з урахуванням заданих обмежень oL-L і oL-H.

Параметр o – поточне розраховане приладом значення вихідної потужності, яке може відрізнятись від значення параметра o-Ed через дію параметра orL групи Adu, що забороняє різку зміну потужності, що видається на ВУ1.

Тобто, встановивши необхідне значення потужності параметрі o-Ed, слід перейти до параметра o і переконатися, що поточна потужність досягла значення, встановленого в o-Ed.

Якщо у параметрі orL встановлено значення 100, вихідна потужність передається на вихід миттєво.

Перехід від параметра до параметра в режимі ручного керування виконується звичайним чином (коротке натискання [ПРОГ]).

Вихід із режиму виконується натисканням та утриманням кнопки [ПРОГ] на 4–6 с.



3.3.2.6 При налаштуванні компаратора та пристрою «LBA» необхідно вибрати один із 11 типів логіки його спрацьовування та встановити необхідне значення параметра ALt. Після вибору логіки спрацьовування необхідно налаштувати поріг спрацьовування та гістерезис компаратора – параметри AL-d та AL-N відповідно. При установці у параметрі ALt значення 0 компаратор буде вимкнено, параметри AL-d, AL-N недоступні. Параметр AL-N може набувати значення в діапазоні від 0 до верхньої межі діапазону вимірювання використовуваного датчика. Параметр AL-d може приймати значення від нижньої до верхньої межі діапазону вимірювання датчика, що використовується.

Налаштування сигналізації LBA. Для встановлення часу діагностики обриву контуру (параметр LbA) необхідно перейти до групи параметрів Adu. Час діагностики обриву контуру LbA вимірюється за секунди і може бути обчислено за певною методикою.

Ширина зони діагностики обриву контуру визначається в параметрі LbAb в одиницях вимірювання вхідної величини.

Налаштування стану «зупинення регулювання». У режимі двопозиційного регулювання при зупиненому регулюванні робота ВП1 блокується. При зупиненому ПД-регулюванні ВП1 переводиться в стан, визначений у параметрі ndST:

- якщо  $ndST = 0$  прилад видає вихідний сигнал рівний останньому, визначеному до зупинки регулювання, значення вихідного сигналу;
- якщо  $ndST = nuST$  прилад видає вихідний сигнал рівний значенню, встановленому у параметрі nuST.

При виявленні будь-якої помилки прилад припиняє регулювання, і вихідний сигнал регулятора набуває значення, визначене у параметрі onEr при двопозиційному регулюванні та nuER при ПД-регулюванні.

При спрацьованні пристрою обриву контуру вихідний сигнал регулятора також набуває значення, визначене параметром onEr або nuER. Вимкнення сигналу тривоги здійснюється встановленням параметра r-S значення STOP.

Відновлення роботи регулятора здійснюється встановленням параметра  $r-S$  значення  $rUn$ .

3.3.2.7 Налаштування обміну даними через інтерфейс RS-485 здійснюється параметрами групи Conn:

- Prot – протокол обміну даними (ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII);
- bPS - швидкість обміну в мережі;
- A.LEn – довжина мережевої адреси;
- Addr – базова адреса приладуначень;
- rSdL – затримка при відповіді RS-485 [20].

3.4 Проектування SCADA-системи для керування технологічним процесом пастеризації молока

Враховуючи високу затребуваність та ефективність систем керування із типовими алгоритмами регулювання, а особливо з ПІД-алгоритмом, пропоную функціональну схему системи регулювання температури з одноканальним ПІД-регулятором на основі SCADA-системи OWEN Process Manager і підсистемою Owen Report Viewer. Функціональну схему проектованої системи показано ( на рис. 3.7).

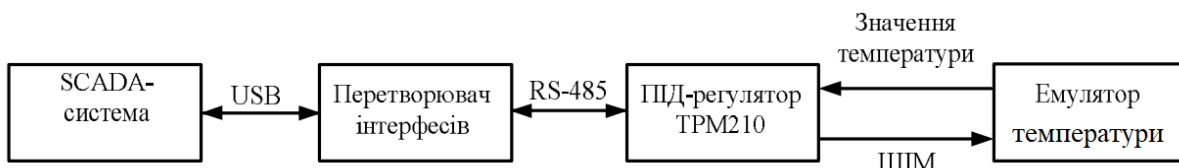


Рисунок 3.7- Функціональну схему підтримання заданої температури

До складу системи входить: емулятор температури фірми ОВЕН ЕП10 (об'єкт регулювання); одноканальний терморегулятор фірми ОВЕН ТРМ210 (здійснює вихід та підтримання заданої температури за ПІД-законом регулювання); автоматизоване робоче місце (АРМ), реалізоване на основі SCADA-системи та OPC-сервера; перетворювач інтерфесів АС4 (забезпечує зв'язок між терморегулятором та АРМ, а також дає змогу проводити налаштування ТРМ210 з ПК).

Обраний терморегулятор призначений для вимірювання температури імпульсного або аналогового управління навантаженням за пропорційно-інтегрально-диференціальним (ПІД) законом, а також для формування додаткового сигналу, який може бути використаний для сигналізації у разі відхилення параметра від заданого температурного діапазону. [3]. Емулятор температури використовується як об'єкт управління під час налагодження установок (систем), що функціонують із застосуванням терморегуляторів [5].

Перетворювач інтерфейсів призначений для взаємного електричного перетворення сигналів інтерфейсів USB і RS-485 із забезпеченням гальванічної ізоляції входів між собою. Перетворювач інтерфейсів автоматично визначає напрямок передачі даних, що дає змогу виключити необхідність у додатковому управлінні обміном даними і значно знизити часові інтервали (тайм-аути) між кадрами даних; дає змогу підключати до промислової мережі RS-485 персональний комп'ютер, має USB-порт, при цьому живлення приладу здійснюється від шини USB. Під час підключення приладу до ПК в останньому з'являється віртуальний COM-порт, що уможливорює без додаткової адаптації використовувати інформаційні системи (SCADA, конфігуратори), які працюють з апаратним COM-портом. Для організації автоматизованого робочого місця оператора була застосована SCADA-система [17].

Терморегулятор для SCADA-системи, для обміну даними між ним та SCADA-системою був використаний OPC-сервер фірми Овен. Технологія OPC – надає розробникам промислових програм універсальний фіксований інтерфейс обміну даними з будь-якими пристроями [18].

Оператор SCADA-системи за допомогою інтерфейсу може спостерігати за змінами у процесі управління, аналізувати одержані дані, проводити керування технологічним процесом, реагувати на позаштатні ситуації.

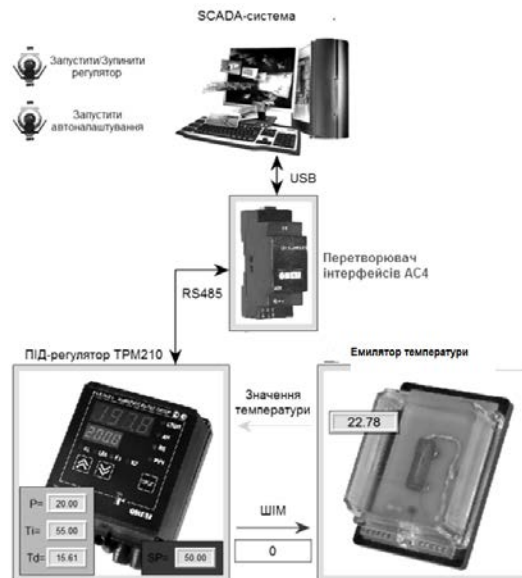


Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд розробленого інтерфейсу регулювання температури.

Вікно роботи OWEN Process Manager зі схемою всього процесу (рис. 3.9).

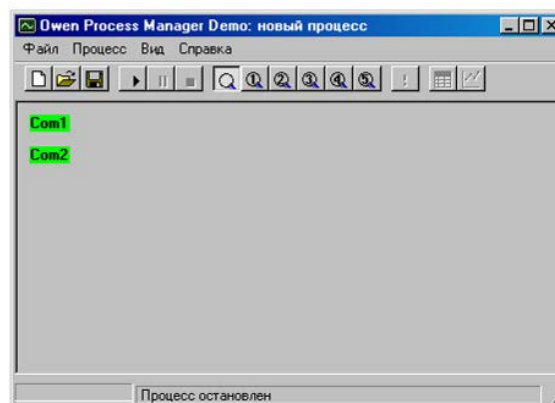


Рисунок 3.9 - Вікно програми OWEN Process Manager

1 При запуску, система ОРМ автоматично визначає наявність комунікаційних портів (портів послідовної передачі даних RS-485) в комп'ютері.

2 Підключаємо вимірювач-регулятор TRM210. Для цього клацанням правої кнопки миші на вільному місці вікна ОРМ викликаємо контекстне меню і вибираємо позицію Додати прилад. Відкривається вікно визначення приладу, яке має дві вкладки: Загальні властивості і Параметри опитування. Вносимо зміни в налаштування відповідно до рисунку 3.10.

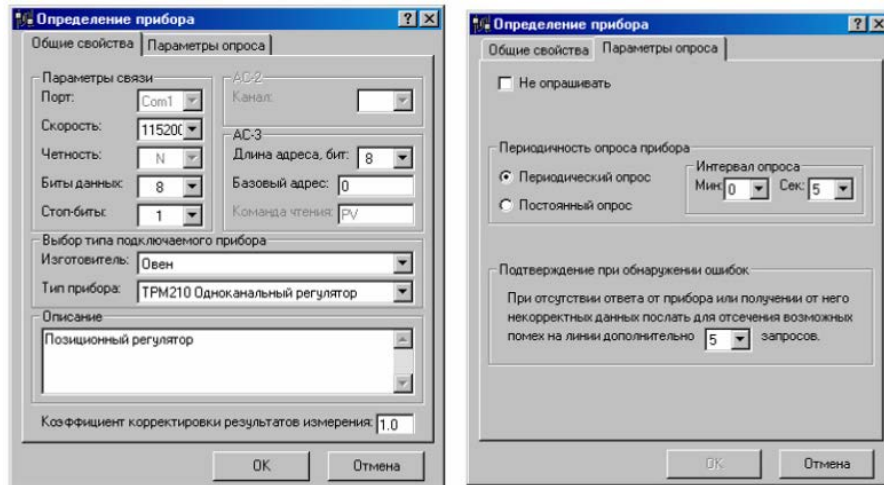


Рисунок 3.10- Вікно визначення приладу

В результаті, у вікні роботи зі схемою всього процесу відображаються прилад і перетворювач інтерфейсів, підключений до послідовного порту ПК (рис. 3.11).

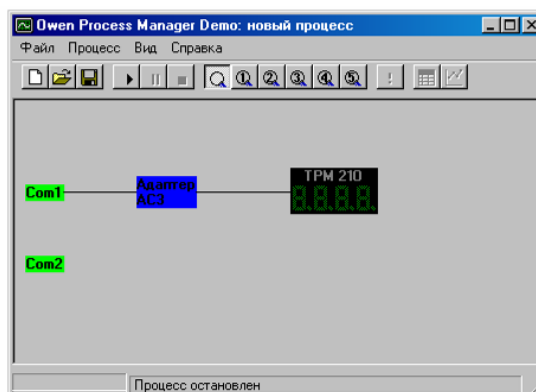


Рисунок 3.11- Схема підключення приладів

При запуску процесу регулювання тут буде відобразитися яка вимірюється величина, але для постійного візуального контролю необхідно в режимі реального часу будувати графік вимірюваної величини.

Посилання на деякий прилад служить для організації періодичного скидання значень в файл рапорту, контролю допустимості цих значень з видачею відповідних попереджень, а також для подання цих значень у вигляді найпростішого графіка.

3 Додаємо посилання. Для цього клацанням правої кнопки миші на вільному місці вікна викликаємо контекстне меню і вибираємо позицію Додати посилання. Відкривається вікно налаштувань посилання, яке має дві вкладки:

Посилання, Протокол і графік. Внесемо зміни відповідно до рисунку 3.12 і рисунку 3.13 і натиснемо ОК. У вікні опису посилання на вкладці «Посилання» в примітці використовується символ #. В процесі роботи цей символ буде замінюватися поточним значенням вимірюваної величини. В результаті, у вікні відображається посилання (рис. 3.12). Залишається розтягнути зону відображення посилання до потрібних розмірів і зберегти файл опису процесу на диск. На цьому настройка параметрів контролю і реєстрації закінчена.

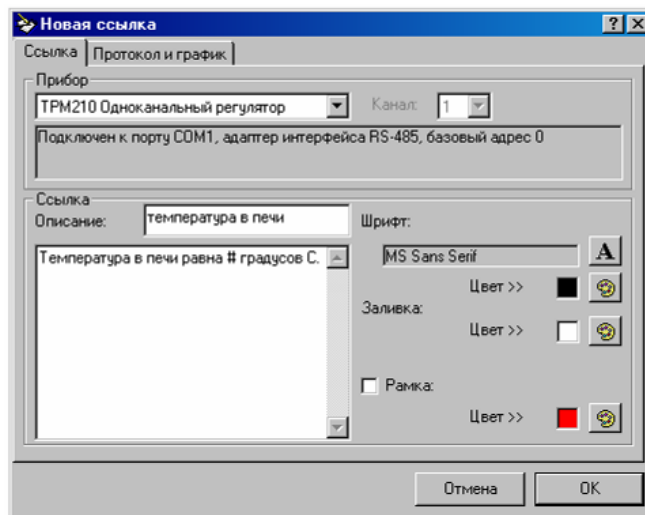


Рисунок 3.12- Вкладка Посилання вікна додавання посилання

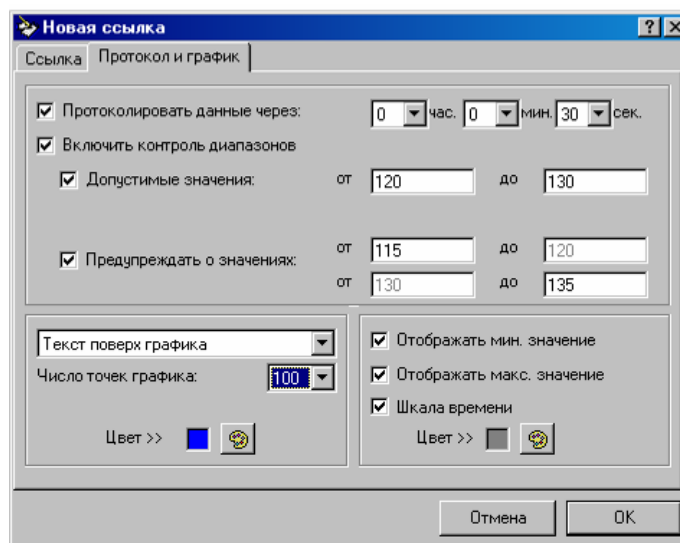


Рисунок 3.13 - Вкладка Протокол і графік вікна додавання посилання

4 Щоб запустити процес, необхідно натиснути на відповідну кнопку на панелі управління. Тут потрібно відзначити, що при натисканні кнопки Запустити процес починається опитування приладу, а також індикація і реєстрація параметрів, але не надається можливість управління запуском / зупинкою самого процесу.

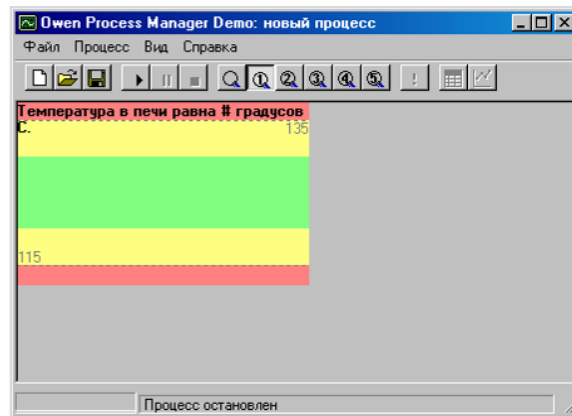


Рисунок 3.14 - Посилання з зоною відображення графік

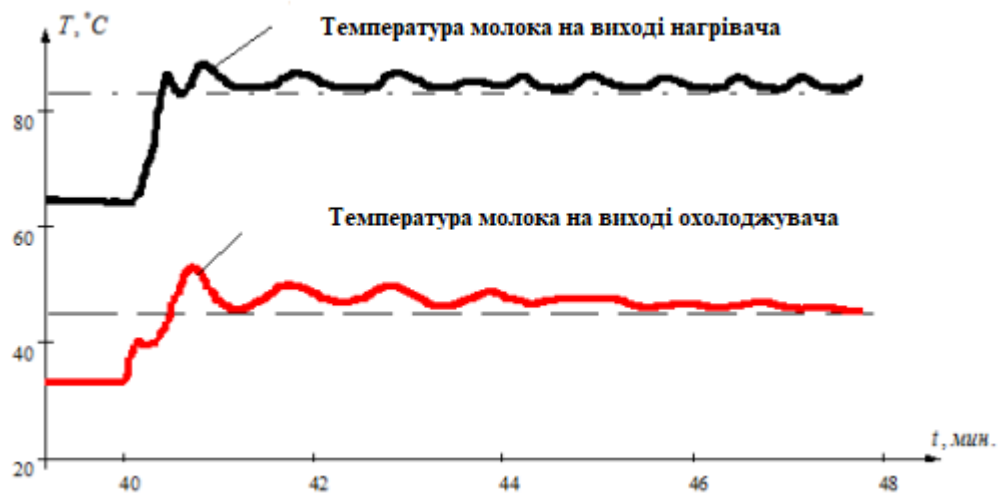


Рисунок 3.15 – Графіки температури молока

Налаштування вимірювачів-регуляторів здійснювалося з використанням вбудованої функції автоналаштування, дозволило суттєво скоротити час проведення пуско-налагоджувальних робіт. Як видно з рисунка, автоналаштування забезпечує необхідні якісні та кількісні показники технологічного процесу [22].



Рисунок 3.16 -Налаштування регуляторів

Стабілізація заданої температури пастеризованого молока, що видається насосом №2 шляхом пропорційного збільшення/зменшення подачі пари в другий контур теплообмінника за допомогою керованої засувки (на рис. 3.17)

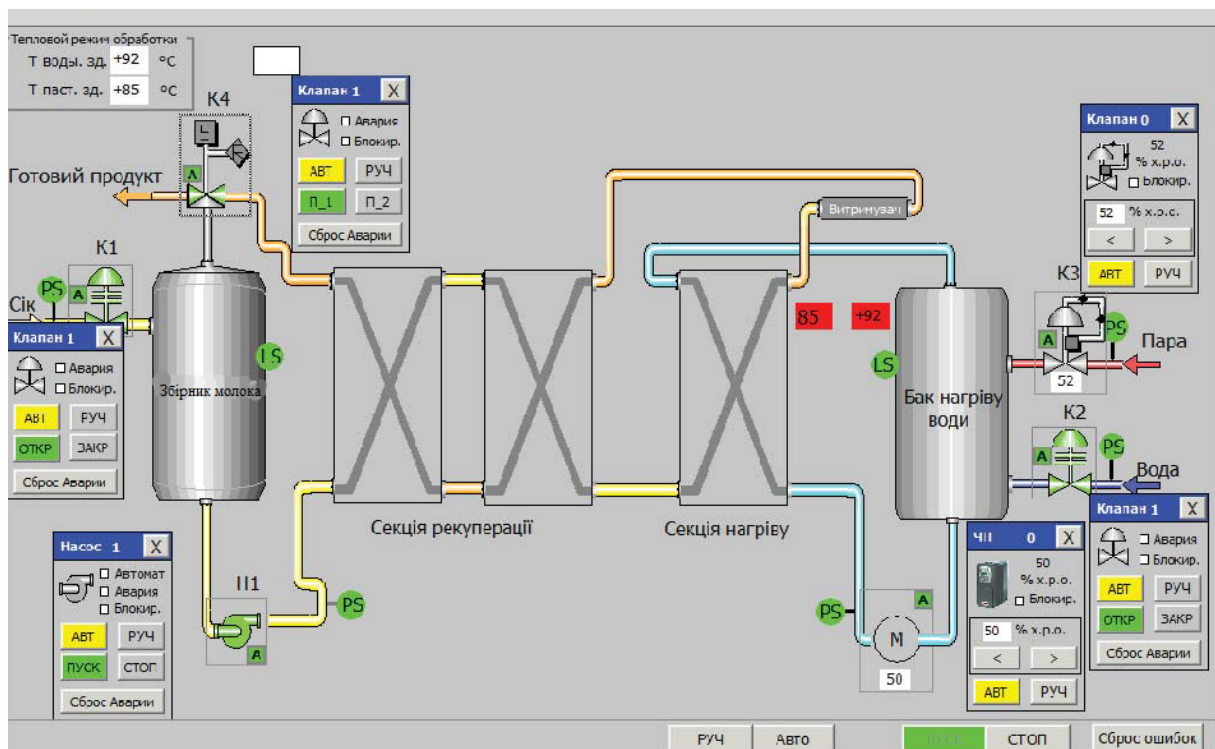


Рисунок 3.17 - Вікно мнемосхема при екранних формах керування двигунами і засувками

Зовнішній системи візуалізації на передній панелі шафи керування із встановленими вимірювачами-регуляторами представлений на рисунку 3.18.



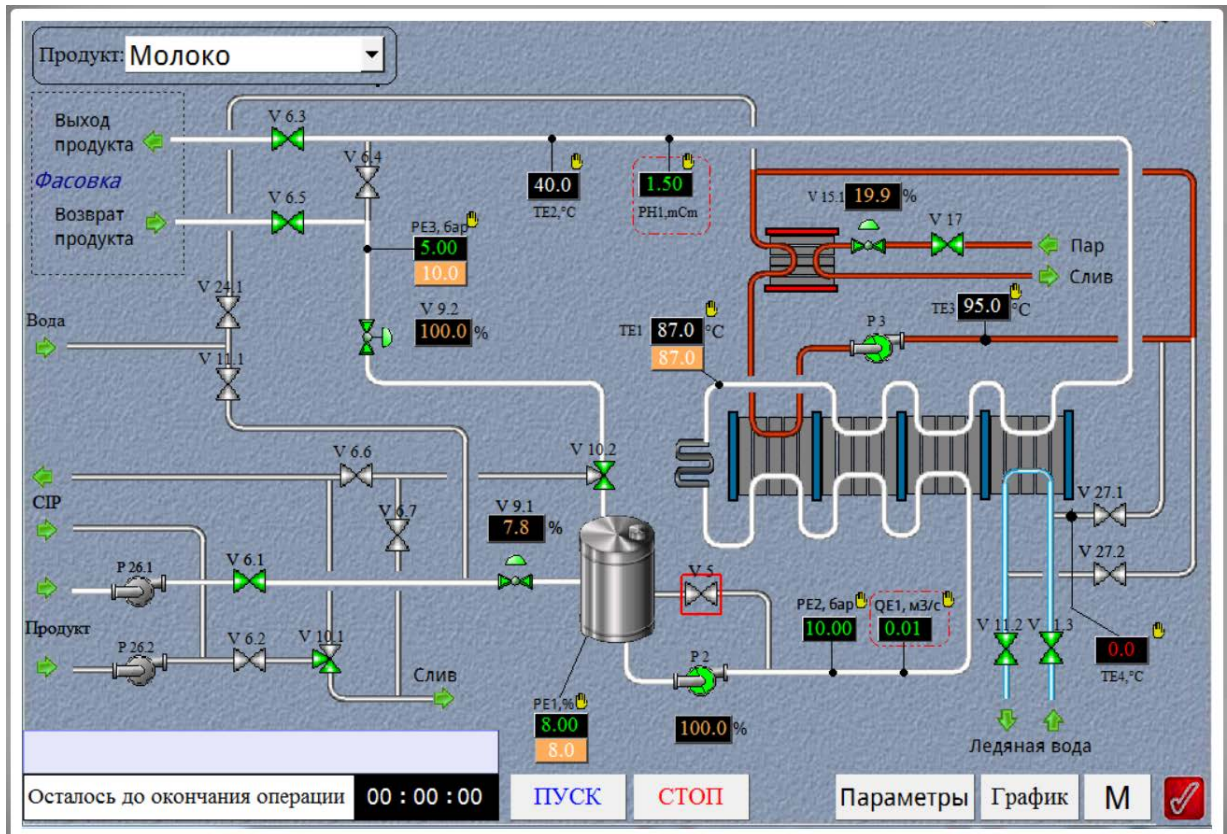


Рисунок 3.18 – Візуалізація технологічного процесу пастеризації молока

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**

В третьому розділі магістерської дипломної роботи було виконано моделювання комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока, проведено синтез регулятора температури, розроблено алгоритм програми для мікроконтролера OWEN TPM210 та описано методику його програмування. Проведено реалізацію SCADA-системою OWEN Process Манагер і підсистемою OWEN Report Viewer для керування технологічним процесом пастеризації молока з використанням візуалізації в режимі реального часу.

## ВИСНОВКИ

В магістерській дипломній роботі описано призначення пастеризації, та її основні види. Визначено етапи технологічного процесу пастеризації молока. Описано основні функціональні елементи процесу пастеризації. На основі аналізу визначено недоліки існуючих пастеризаційних установок та розроблена функціональна схема пастеризації молока де зазначено основні етапи процесу пастеризації та регулюючі та контролюючі параметри технологічного процесу.

На основі параметрів технологічного процесу було вибрано і описано основні характеристики засобів вимірювання, зроблено розрахунок на основі якого вибрано регулюючий орган і виконавчий механізм. Для регулювання параметрами технологічного процесу вибрано регулятора на основі мікроконтролера OWEN TPM210.

Виконано моделювання комп'ютерно-інтегрованої системи керування технологічним процесом пастеризації молока, проведено синтез регулятора температури, розроблено алгоритм програми для мікроконтролера OWEN TPM210 та описано методику його програмування. Розроблено SCADA-систему для керування технологічним процесом пастеризації молока з використанням візуалізації в режимі реального часу.

Розроблена система в автоматичному режимі роботи здійснює:

- стабілізація заданої температури пастеризації шляхом пропорційного зменшення/збільшення витрати молока, що нагрівається, засобами частотно-регульованого електроприводу насоса;
- стабілізація заданої температури пастеризованого молока шляхом пропорційного збільшення/зменшення подачі пари в другий контур теплообмінника за допомогою керованої засувки;
- реєстрацію даних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Бойко Р.О. Комплексування методів керування організаційно-технічними (технологічними) системами з використанням інформаційних технологій / Р.О. Бойко// Виробництво & Мехатронні Системи 2018: матеріали II-й Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2018р. с. 17-20.

2 Гончаренко, Б. М. Вдосконалення функціональної структури систем автоматичного керування технологічними об'єктами / Б. М. Гончаренко, О. П. Лобок // Харчова промисловість. - 2015. - № 17. - С. 121-126.  
<http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/22427>

3 Дипломний проєкт на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна техніка» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка» на тему: «Цифровий люксометр з системою позиціонування» Грижак Андрій Петрович.  
[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34756/1/Hryzhak\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34756/1/Hryzhak_bakalavr.pdf)

4 Козаченко В. Ф. Мікроконтролери: застосування 16-разрядних мікроконтролерів Intel MCS-196/296 в вбудованих системах управління. - Київ : Кондор, 2007. - 688 с.

5 Кравчук В. І. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів : науково-практичний посібник / Кравчук В. І., Луценко М. М., Мечта М. П. – Київ : Фенікс, 2008. – 104 с.

6 Машина і обладнання для тваринництва та птахівництва : посібник / [за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника]. – Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Погорілого, 2009. – 207 с.

7 Машина і обладнання для тваринництва: підручник для студентів аграрних навчальних закладів I-II рівнів акредитації / І. І. Ревенко, В. С. Хмельовський, О. О. Заболотько та ін.. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., - 2017. – 304 с.

8 Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Методи і засоби сучасного автоматизованого управління технологічними процесами”, Укладачі: В. В. Осипенко, В. Л. Щербатюк, 2,3 ум. друк. арк., Київ 2014.

9 Машинне доїння корів і первинна обробка молока / [Фененко І. І. та ін.]; за ред. А. І. Фененка. – Київ : Урожай, 1990.

10 Методичні вказівки до виконання дипломної роботи магістра для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування напряму підготовки 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: Автоматизоване управління технологічними процесами; Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва / упор.: В.Г. Здоренко, В.Б. Дроменко – К.: КНУТД, 2017.- 54с.

11 Мікропроцесорні контролери в системах автоматичного регулювання / Г. Г. Іордан, Н. М. Курносів, М. Г. Козлов, В. В. Певзнер // Прилади і системи управління.1981. № 2 . С. 50-54.

12 Механізація і автоматизація тваринництва : підручник / [Ревенко І. І. та ін.]. – Київ : Вища освіта, 2004 – 399 с. : іл.

13 Механізація трудомістких робіт у малих фермах / [Ясенецький В. А. та ін.]. – Київ : Урожай, 1990.

14 Мисак В.Ф. Навч. Посібник Методи ідентифікації статичних характеристик об'єктів керування К.: НТУУ КПІ, 2010.

15 Монтаж і пусконаладження фермерської техніки : навчальний посібник / [за ред. І. І. Ревенка]. – Київ : Кондор, 2004. – 400 с.

16 Посібник-практикум з механізації виробництва продукції тваринництва / [Ревенко І. І., та ін.] ; за ред. І. І. Ревенка. – Київ : Урожай, 1994.

17 Ревенко І. І. Машини і обладнання для тваринництва / Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ревенко В. І. – Київ : Кондор, 2009.

18 Ревенко І. І. Механізація тваринництва : підручник / І. І. Ревенко, В. М. Щербак. – Київ : Вища освіта, 2004.

19 Автоматизація пастеризації молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.svaltera.ua/solutions/typical/food\\_industry/6656.php](https://www.svaltera.ua/solutions/typical/food_industry/6656.php)

20 Використання SCADA-системи trace mode при вивченні дисципліни автоматичні системи управління технологічними процесами в АПК [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/162902787.pdf>

21 Витратоміри [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://etatronds.com.ua/ua/p1648607573-impulsnyj-rashodomer-rezbovoj.html?source=merchant\\_center&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-DkiHtEYz\\_jxwsB5SpMqMQsvLZzBCLsT0yHXkWMbPFjSyWujzQ9JRoCpPIQAvD\\_BwE](https://etatronds.com.ua/ua/p1648607573-impulsnyj-rashodomer-rezbovoj.html?source=merchant_center&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-DkiHtEYz_jxwsB5SpMqMQsvLZzBCLsT0yHXkWMbPFjSyWujzQ9JRoCpPIQAvD_BwE)

22 Датчик тиску [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ianv.com.ua/datchik-davlenija-mbs-3000?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Perf\\_Max-Turboweb&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-OowX1CkM\\_BvrFoXB1A7GMOJi2HJCX1z0EWth0mHnXZho02Q-ef0RoCQBkQAvD\\_BwE](https://ianv.com.ua/datchik-davlenija-mbs-3000?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Perf_Max-Turboweb&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-OowX1CkM_BvrFoXB1A7GMOJi2HJCX1z0EWth0mHnXZho02Q-ef0RoCQBkQAvD_BwE)

23 Датчик кислотності рідини (рН-метр) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://wiki.amperka.ua/products:troyka-ph-sensor>

24 Датчики температури [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ianv.com.ua/datchik-temperaturi-mbt-5252?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Perf\\_Max-Turboweb&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7wOD1ZwPkO9kUaC8LKluQmzb1ZXW-Rtexldw6V2Fpwo9P9tDBHeqlxoCzW0QAvD\\_BwE](https://ianv.com.ua/datchik-temperaturi-mbt-5252?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Perf_Max-Turboweb&gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7wOD1ZwPkO9kUaC8LKluQmzb1ZXW-Rtexldw6V2Fpwo9P9tDBHeqlxoCzW0QAvD_BwE)

25 Датчики рівня рідини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/rele-urovnya-zhidkosti/datchik/>

26 Дослідження розподіленої системи управління (OWEN мережа Modbus) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/assign/view.php?id=238873&forceview=1>

27 Ексцентрикові насоси MOUVEX [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://prytec.in.ua/ua/g96238505-ekstsentrkovye-nasosy-mouvex>

28 Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації збірник матеріалів конференції [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://esmo.kdu.edu.ua/publ/ESMO2014.pdf>

29 Контроль і реєстрація параметрів з використанням SCADA-системи OWEN Process Manager [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/assign/view.php?id=228994&forceview=1>

30 Короткий довідник по ресурсоефективному виробництву при переробці молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://ncpp.md/documente/UA\\_Pocket\\_Guide\\_Dairy.pdf](http://ncpp.md/documente/UA_Pocket_Guide_Dairy.pdf)

31 Машини і обладнання для переробки сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.shevchenkove.org.ua/person\\_syte/Lusak/Машини%20і%20обладнання/Teorija.htm](https://www.shevchenkove.org.ua/person_syte/Lusak/Машини%20і%20обладнання/Teorija.htm)

32 Машини і обладнання для тваринництва [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk\\_2/page63.html](http://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/tsapk_2/page63.html)

33 Моноблочні центробіжні насоси [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.promnasos.com.ua/nkm-g-nkp-g-with-prefilters.html>

34 ОВЕН обладнання для автоматизації [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://owen.ua/izmeriteli-regulatory/pid-reguljator-s-interfejsom-rs-485-oven-trm210>

35 Пастеризація молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.henuathatsit.ru/9479-pasterizacija-moloka.html>

36 Пастеризація молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ppt-online.org/502670>

37 Первинна обробка молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/vizualniy-suprovid-na-temu-pervinna-obrobka-moloka-223864.html>

38 При якій температурі відбувається пастеризація. Режими пастеризації молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://stale.uk/ryadovki/pri-kakoi-temperature-proishodit-pasterizaciya-rezhimy-pasterizacii-moloka/>

39 Проектування ПТЛ виробництва пастеризованого питного молока і вершків пастеризованих [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3934280/page:47/>

40 Производственные линии питьевого молока технология питьевого пастеризованного молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3934280/page:48/>

41 Перетворювачі USB - RS485 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vkmodule.com.ua/Converter/ConverterUSB485.html>

42 Протоколи, інтерфейси, технології [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vkmodule.com.ua/Description/Description2.html>

43 СВ АЛЬТЕРА [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/index.php>

44 Система регулювання температури з одноканальним ПД-регулятором на основі технології SCADA [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://195.22.112.37/bitstream/ntb/36452/1/7\\_39-44.pdf](http://195.22.112.37/bitstream/ntb/36452/1/7_39-44.pdf)

45 SCADA Simp Light. Руководство пользователя – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://simplight.com/manual/>– Загол. з титул екрану. – Перевірено: 06.05.2017.

46 Синтез поліномних регуляторів з врахуванням зовнішнього впливу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cyberleninka.ua/article/n/sintez-polinomialnyh-regulyatorov-s-uchetom-vozmuscheniy>

47 Синтез регуляторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://studbooks.net/2369951/tehnika/sintez\\_regulyatorov](https://studbooks.net/2369951/tehnika/sintez_regulyatorov)

48 Технологія виробництва молока пастеризованого питного [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://flexi.com.ua/?p=4981>

49 Технологічне обладнання для молочного виробництва [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://molpromsnab.ua/equipment/catalog/pasteurizers/plate-pasteurizers/pasteurizer-number-1/>

50 Ультрозвукова пастеризація [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.hielscher.com/uk/ultrasonic-pasteurization-of-liquid-foods.htm>



## ДОДАТОК А

УДК 681.5:664.3.033.6

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

Ю.О. Лебеденко, кандидат технічних наук, доцент

*Київський національний університет технологій та дизайну*

В.В. Олійник, магістрант,

*Київський національний університет технологій та дизайну.*

На сьогоднішній день світові підприємства використовують комп'ютерно-інтегровані системи керування технологічними процесами. Це дає змогу виготовляти більшу кількість продукції, підвищити якість цієї продукції та зменшити вплив людського фактору на технологічний процес.

Молочні продукти становлять значну складову частину раціону людей, вони використовуються в багатьох стравах та в різному вигляді. В умовах військових дій, періодичних відключень у населення електричної енергії, для більш тривалого зберігання молочних продуктів необхідно їх «очистити» від бактерій та мікроорганізмів. Обладнання, яке використовується на багатьох підприємствах України для пастеризації часто застаріле, тому не всі параметри підтримуються на необхідному рівні.

Під час проведення аналізу технологічного процесу пастеризації було виявлено суттєві недоліки існуючих пастеризаційних установок, що значно ускладнює роботу обслуговуючого персоналу та негативно впливає на продуктивність та якість технологічного процесу, терміни та умови зберігання, слід віднести наступне:

- дросельне регулювання подачі молока та теплоносіїв, що призводить до нераціональних витрат електроенергії;
- відсутність системи автоматичної підтримки заданої температури молока у передбачених технологічним процесом межах;
- відсутність перепускного клапана для оперативного перемикання технологічних контурів аварійних режимах;
- відсутність електрифікованих засувки для регулювання кількості води, пари та молока залежно від потреб технологічного процесу;
- відсутність системи керування верхнього рівня, що забезпечує автоматичний режим роботи пастеризаційної установки;
- відсутність системи візуалізації та диспетчерського контролю над технологічним процесом [1].

Модернізація пастеризаційної установки спрямована на усунення вищезазначених недоліків, забезпечення якості технологічного процесу, підвищення надійності та зниження вартості обслуговування обладнання. В результаті на основі розробленої функціональної схеми процесу пастеризації показаної на рис.1, реалізовано систему автоматичної підтримки заданої температури молока в межах, передбачених технологічним процесом.

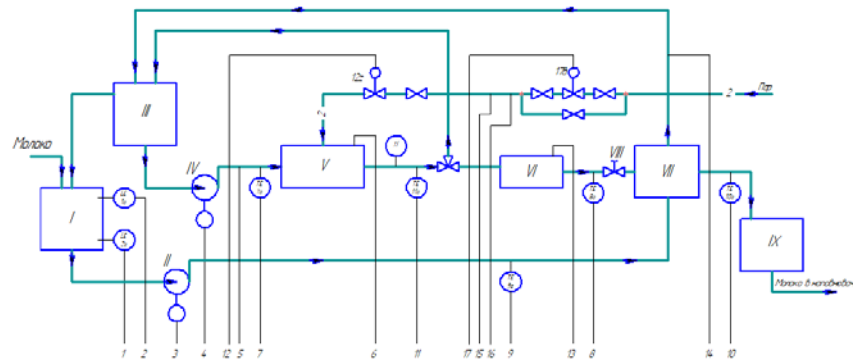


Рисунок 1 - Функціональна схема автоматизації технологічного процесу пастеризації

Алгоритм функціонування процесу термічної обробки в даному об'єкті зводиться до наступного: молоко з молокозбірника I насосом II подається в секцію регенеративного нагріву VII, де заздалегідь підігрівається до температури 80 °С за рахунок тепла молока, що поступає в регенератор з витримувача VI. З регенератора VII молоко поступає в збірку III, звідки засобами частотно-регульованого електроприводу насоса IV подається в підігрівач V, де нагрівається паром ( $p_n = 0,3$  МПа,  $t_n = 125$  °С) до температури  $95 \pm 1,5$  °С і прямує у витримувач VI. Тут молоко при заданій температурі нагріву витримується протягом 60с у витримувачі шляхом пропорційного збільшення/зменшення подачі пари вентилем VIII. З витримувача VI молоко прямує в регенератор VII, віддає тут частину тепла на нагрів молока, що поступає, і подається в збірник IX для подальшої розфасовки в тару [2].

Використання ПІД-регулятора OWEN TRM210 та вдосконалення алгоритму роботи дало змогу:

- стабілізувати задану температуру пастеризації шляхом пропорційного зменшення/збільшення витрати молока, що нагрівається, засобами частотно-регульованого електроприводу насоса;
- стабілізувати задану температури пастеризованого молока шляхом пропорційного збільшення/зменшення подачі пари в другий контур теплообмінника за допомогою керованої засувки.

Розробкою SCADA – системи реалізували дистанційне керування технологічним процесом, контроль в реальному часі, візуалізацію та реєстрацію даних [1].

#### Список використаних джерел

1. Автоматизация пастеризации молока [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.svaltera.ua/Solutions/typical/food\\_industry/6656.php](https://www.svaltera.ua/Solutions/typical/food_industry/6656.php)
2. Технологическое оборудование для молочного производства [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://molpromsnab.ru/equipment/catalog/pasteurizers/plate-pasteurizers/pasteurizer-number-1/>

ДОДАТОК Б

